



SKRIPSI – ME141501

**STUDI PENGGUNAAN *SODA LIME*
PADA MODIFIKASI *REEFER CONTAINER*
DENGAN MENGGUNAKAN REFRIGERAN CO₂**

Bashofi Cahyo Buwono

NRP 4212 100 018

Dosen Pembimbing

Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc

Beny Cahyono, ST. MT.

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016



SKRIPSI – ME141501

**STUDI PENGGUNAAN *SODA LIME*
PADA MODIFIKASI *REEFER CONTAINER*
DENGAN MENGGUNAKAN REFRIGERAN CO₂**

Bashofi Cahyo Buwono

NRP 4212 100 018

Dosen Pembimbing

Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc

Beny Cahyono, ST. MT.

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016



FINAL PROJECT – ME141501

STUDY ON USING SODA LIME ON REEFER CONTAINER MODIFICATION WITH USING CO₂ AS REFRIGERAN

Bashofi Cahyo Buwono

NRP 4212 100 018

Supervisor

Ir. Alam Baheramasyah, M.Sc

Beny Cahyono, ST. MT.

Departement of Marine Engineering

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institut of Technology

Surabaya

2016

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PENGGUNAAN SODA LIME PADA MODIFIKASI REEFER CONTAINER DENGAN MENGGUNAKAN REFRIGERAN CO₂

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Marine Machinery and System (MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

BASHOFI CAHYO BUWONO

NRP 4212 100 018

Disetujui oleh Pembimbing SKRIPSI :

Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc

Beny Cahyono, ST. MT.

()
()

SURABAYA

Juli, 2016

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PENGGUNAAN SODA LIME PADA MODIFIKASI REEFER CONTAINER DENGAN MENGGUNAKAN REFRIGERAN CO₂

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Marine *Machinery and System* (MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

BASHOFI CAHYO BUWONO
NRP 4212 100 018

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badruz Zaman, S.T., M.T.
NIP.197708022008011007

**STUDI PENGGUNAAN SODA LIME
PADA MODIFIKASI REEFER CONTAINER
DENGAN MENGGUNAKAN REFRIGERAN CO₂**

Nama Mahasiswa : Bashofi Cahyo Buwono
NRP : 4212 100 018
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Alam Baheramsyah M.Sc
2. Beny Cahyono, ST, M.T

Abstrak

Reefer container merupakan container yang memiliki sistem pendinginan pada ruang penyimpanannya. Pada umumnya sistem pendingin pada *reefer container* menggunakan freon, tetapi pada beberapa tahun terakhir banyak penelitian pengembangan sistem refrigerasi dengan menggunakan CO₂ cair. Dimana masih ada beberapa kendala dalam penggunaan CO₂ dimana salah satunya adalah efek negatif terhadap lingkungan. Untuk meminimalkan dampak CO₂ sebagai pendingin maka dilakukan pengikatan CO₂ yang terkandung di dalam kontainer dengan menggunakan *soda lime* sebagai pengikat CO₂.

Untuk memperkecil dampak CO₂ maka pada penelitian ini dilakukan analisa perhitungan kebutuhan *soda lime* dan penentuan desain wadah *soda lime* sesuai dengan kebutuhan proses pengikatan CO₂. Proses analisa akan dimulai dari memperhitungkan beban pendinginan, menentukan kebutuhan pendingin CO₂ dan menentukan kebutuhan *soda lime* dan wadahnya.

Dengan analisa perhitungan, dibutuhkan 700 kg CO₂ cair untuk mendinginkan 14500 kg pisang dari suhu 20°C menjadi 14°C. Sedangkan untuk proses pengikatan CO₂, dibutuhkan 1385 kg *soda lime* dengan volume *soda lime* sebesar 1,693 m³ dengan kebutuhan luas permukaan wadah sebesar 12,723 m². Dari kebutuhan tersebut maka wadah *soda lime* didesain dengan ukuran 1,25 m x 2,29 m x 0,765 m.

Kata Kunci : CO₂, *Reefer container*, *Soda lime*.

STUDY ON USING SODA LIME ON REEFER CONTAINER MODIFICATION WITH USING CO₂ AS REFRIGERAN

Student Name : Bashofi Cahyo Buwono
Registration Number : 4212 100 018
Departement : Teknik Sistem Perkapalan
Supervisors : 1. Ir. Alam Baheramsyah M.Sc
2. Beny Cahyono, ST, M.T

Abstrak

Reefer container is a type of container that have cooling system for storage room. Generally cooling system on reefer container is using freon as refrigeran, but in recently year there are many research on developing cooling system using CO₂ liquid. There is still some obstacle on using CO₂, where one of the obstacle is the negatif effect to the environment. To minimize the impact on using CO₂ as cooler, then the CO₂ that contain in the container will be absorbed with using soda lime as scrubber.

To minimize the impact of CO₂ then on this research we will do analysis calculation to calculate the soda lime and soda lime chamber that need that suitable with the requirement to absorb CO₂. The analysis process will be started with calculating cooling load, determine the CO₂ refrigeran that needed and to determine the soda lime and the chamber that needed.

Through calculation analysis, 700 kg of CO₂ liquid to cool down 14500 kg banan from 20°C to 14°C. While for the CO₂ scrubbing proces, the amount of soda lime needed is 1385 kg with the volume of soda lime 1,693 m³ with the surface area needed

12,723 m². From that requirement then the soda lime chamber is designed with the following dimension 1,25 m x 2,29 m x 0,765 m.

Kata Kunci : CO₂, *Reefer container*, *Soda lime*.

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya kepada kami sehingga berhasil menyelesaikan skripsi ini dengan baik dengan judul **“Studi Penggunaan Soda lime Pada Modifikasi Reefer container Dengan Menggunakan Refrigeran CO₂”**.

Pada penyusunan skripsi ini, banyak bantuan, bimbingan, serta dorongan dari berbagai pihak yang diberikan pada penulis. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Ayah dan Ibu, Subari Noto Buwono dan Setyaning Prastiti yang senantiasa memberikan dukungan baik dalam hal moral, motivasi, doa, serta materi. Tak kunjung lupa dengan kakak saya Daryono dan istrinya Dwi Lestarinig Buwono yang selalu mensupport saya.
2. Bapak Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc, selaku dosen pembimbing skripsi dan selaku kepala laboraotium Mesin Fluida dan Sistem dan Bapak Beny Cahyono, ST. MT., selaku dosen pembimbing skripsi. Terimakasih atas bimbingan, ilmu, saran, dan dukungannya sehingga penulis mampu menyelesaikan pengerjaan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Ir. Ali Altway, M.Sc, yang telah memberikan saran dan ilmunya pada pengetahuan mengenai proses kimia sehingga penulis mampu menyelesaikan pengerjaan skripsi dengan baik.

Pengerjaan skripsi ini penulis lakukan dengan usaha sebaik mungkin. Namun, selayaknya ada kekurangan yang tertulis pada skripsi ini penulis berharap saran serta kritik yang membangun demi perbaikan skripsi ini. Pada penghujung kata, semoga apa yang telah dilakukan dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	vii
Abstrak	ix
Kata Pengantar	xi
Daftar Isi	xiii
Daftar Gambar	xvii
Daftar Tabel	xix
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 5
2.1 Container.....	5
2.1.1 Dry Container	5
2.1.2 <i>Reefer container</i>	5
2.2 Pisang	9
2.3 Modifikasi Sistem Pendingin	9
2.4 Refrigeran CO ₂	10
2.5 Karbondioksida CO ₂	10
2.6 Jenis Pengikat CO ₂	11
2.7 <i>Soda lime</i>	12

2.8 Proses Reaksi Kimia Dalam Pengikatan CO ₂ Oleh <i>Soda lime</i>	13
2.9 Faktor Pertimbangan Dalam Pendesainan Wadah <i>Soda lime</i>	13
2.10 Keseimbangan Energi Pada Pendinginan Muatan....	14
2.11 Kapasitas Aliran Gas Pada Valve Pengatur Kapasitas	14
2.12 Flux Pengikatan Karbondioksida.....	14
2.13 Persamaan Keseimbangan Energi Proses Pengikatan CO ₂	15
2.14 Flux Persamaan Bernouli.....	17
BAB III METODOLOGI	19
3.1 Identifikasi Dan Perumusan Masalah	19
3.2 Studi Literatur.....	19
3.3 Pengumpulan Data.....	19
3.4 Pembagian Ruang Kontainer.....	19
3.5 Menghitung Beban Pendinginan.....	20
3.6 Perhitungan Kebutuhan Refrigeran Karbondioksida.	20
3.7 Desain Sistem Pendinginan	20
3.8 Pendesainan Wadah <i>Soda lime</i>	20
3.9 Perhitungan Reaksi Kimia Dalam Pengikatan CO ₂ Oleh <i>Soda lime</i>	21
3.10 Proses Pengikatan CO ₂ Pada Setiap Proses Pembilasan	21
3.11 Flow Chart Proses Pengerjaan.....	22
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Pembagian Ruang Muat	25
4.2 Penentuan Pengkondisian Udara Ruang Muat	26
4.2.1 Tekanan Udara Ruang Muat Dengan Analisa ANSYS	26
4.2.1.1 Penentuan Parameter	26

4.2.1.2 Proses Analisa Simulasi Software CFD..	27
4.2.2 Pengaturan Temperatur Ruang Muat	30
4.3 Beban Pendinginan	30
4.3.1 Beban Produk	31
4.3.2 Beban Transmisi	31
4.3.3 Beban Infiltrasi	34
4.3.4 Beban Total	34
4.4 Perhitungan Kebutuhan Refrigeran	
Karbondioksida	34
4.5 Desain Sistem Pendinginan	35
4.5.1 Temperature Controlled Valve (TCV).....	35
4.5.2 Pressure Reduction Valve 1 (PRV1).....	35
4.5.3 Flow Control Valve (FCV).....	36
4.5.4 Pressure Reduction Valve 2 (PRV2)	36
4.5.5 Pressure Controlled Valve (PCV)....	37
4.5.6 Check Valve (CV).....	37
4.5.7 Proses Pembilasan Udara Pada Ruang Muat	37
4.6 Reaksi Kimia Dalam Pengikatan CO ₂	38
4.7 Pendesainan Wadah <i>Soda lime</i>	39
4.7.1 Kebutuhan Ukuran Wadah <i>Soda Lime</i>	39
4.7.2 Penempatan Wadah <i>Soda Lime</i>	39
4.7.3 Penentuan Lapisan Dinding Wadah <i>Soda Lime</i>	40
4.7.4 Desain Bagian Dalam Wadah <i>Soda Lime</i>	40
4.8 Proses Pengikatan CO ₂ Pada Setiap Proses Pembilasan	43
4.9 Kebutuhan dan Desain Wadah <i>Soda Lime</i> Pada Fariasi Presentase Pengikatan Beserta Beban Pendinginan yang Dihasilkan	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	50

DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Lapisan dinding <i>reefer container</i>	6
Gambar 2.2 Modifikasi sistem pendingin.....	9
Gambar 2.3 Diagram fase CO ₂	11
Gambar 2.4 <i>Soda lime</i>	12
Gambar 2.5 Grafik fluks pengikatan CO ₂ dari udara.....	13
Gambar 4.1 Pembagian ruang kontainer.....	25
Gambar 4.2 Kekuatan plat konstruksi pada kontainer.....	27
Gambar 4.3 Geometry objek.....	28
Gambar 4.4 Hasil meshing objek.....	28
Gambar 4.5 Pemberian perlakuan pada dinding kontainer.....	29
Gambar 4.6 Hasil analisa ANSYS.....	30
Gambar 4.7 Pemodelan tahanan termal pada lapisan dinding <i>reefer container</i>	32
Gambar 4.8 Pemodelan tahanan termal lapisan dinding wadah <i>soda lime</i>	33
Gambar 4.9 Sistem pendingin.....	35
Gambar 4.10 Peletakan wadah <i>soda lime</i>	40
Gambar 4.11 Lapisan dinding wadah <i>soda lime</i>	40
Gambar 4.12 Grafik kecepatan pengikatan (flux) karbondioksida oleh <i>soda lime</i>	41
Gambar 4.13 Detail wadah <i>soda lime</i>	42
Gambar 4.14 Sistem <i>reefer container</i> dengan menggunakan <i>soda lime</i>	43

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Dimensi <i>Reefer container</i> 20 feet.....	7
Tabel 2.2	Dimensi <i>Reefer container</i> 40 feet.....	8
Tabel 2.3	Data massa jenis beberapa jenis pisang.....	9
Tabel 2.4	Zat kimia pengikat CO ₂ dan H ₂ O.....	11
Tabel 2.5	Kandungan zat kimia pada <i>soda lime</i>	12
Tabel 4.1	Pembagian ruang kontainer.....	25
Tabel 4.2	Konduktifitas termal lapisan dinding <i>reefer container</i>	32
Tabel 4.3	Konduktifitas termal lapisan dinding wadah <i>soda lime</i>	33
Tabel 4.4	Detail wadah <i>soda lime</i>	42
Tabel 4.5	Kandungan zat kimia di dalam wadah <i>soda lime</i>	44
Tabel 4.6	Kondisi zat kimia di dalam wadah <i>soda lime</i> di setiap proses pembilasan	45
Tabel 4.7	Beban pendinginan dan ukuran wadah <i>soda lime</i> pada setiap presentase pengikatan CO ₂	46

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ekonomi didunia sekarang ini mendorong setiap negara untuk menghasilkan berbagai produk maupun jasa dengan kualitas yang terbaik. Pada saat ini hampir seluruh proses pengiriman barang dilakukan dengan mengangkutnya dengan kapal terutama dengan menggunakan kapal *container*.

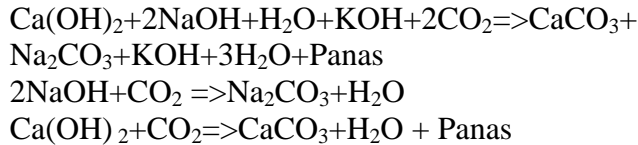
Salah satu alasan penggunaan kontainer adalah bahwa kontainer dapat mempercepat proses pemindahan barang dan mampu menjaga kualitas dari barang yang dibawa terutama barang-barang yang membutuhkan proses pendinginan seperti daging, buah, ikan dan lain-lain dengan menggunakan *reefer container* yang memiliki sistem pendingin sebagai sarana pengiriman barang.

Sistem pendingin dalam *reefer container* pada umumnya menggunakan refrigeran freon yang membutuhkan asupan energi listrik. Untuk meningkatkan efisiensi energi listrik maka dilakukanlah modifikasi pada sistem pendingin yang awalnya menggunakan freon sebagai refrigeran diganti dengan menggunakan CO₂ sebagai refrigeran. Dengan menggunakan sistem pendingin ini maka *reefer container* tidak lagi memerlukan asupan energi listrik dalam proses pendinginan *reefer container* (Alkafh, 2014).

Dari kelebihan penggunaan CO₂ sebagai refrigeran pada *reefer container* yang telah disebutkan sebelumnya ternyata sistem ini memiliki kekurangan. Kekurangan tersebut adalah berupa emisi CO₂ yang besar sehingga berbahaya dalam proses pengeluaran barang dari *container* dan berbahaya bagi alam karena CO₂ merupakan salah satu gas rumah kaca.

Salah satu solusi dalam masalah ini adalah dengan menggunakan zat kimia pengikat CO₂. Dari berbagai zat kimia pengikat CO₂ yang akan digunakan maka dalam penelitian ini digunakanlah *soda lime* sebagai zat kimia pengikat CO₂ karena

lebih aman dan mudah dalam penggunaan dalam jangka waktu lama. Dengan menggunakan *soda lime* ini maka CO_2 akan mengalami proses kimia sebagai berikut.



Dari proses kimia diatas dapat kita lihat bahwa proses kimia tersebut menghasilkan panas yang dapat meningkatkan suhu wadah *soda lime*. Karena wadah *soda lime* yang bersentuhan langsung dengan ruang muat maka akan muncul beban pendinginann, sehingga sumber beban pendinginan pada proses pendinginan akan bertambah.

1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian di atas maka permasalahan utama yang akan dibahas adalah sebagai berikut :

- Berapa kebutuhan Refrigeran CO_2 yang dibutuhkan dalam proses pendinginan?
- Berapa kapasitas kecepatan pengikatan CO_2 yang dibutuhkan selama penyimpanan komoditi?
- Berapa kebutuhan jumlah *soda lime* yang dibutuhkan dalam proses pengikatan CO_2 ?
- Berapa ukuran wadah *soda lime* yang dibutuhkan berdasarkan kebutuhan *soda lime* dan kecepatan pengikatan karbondioksida?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

- Tidak mempertimbangkan secara langsung proses pembuangan zat kimia hasil proses kimia pengikatan CO_2 .
- Muatan *container* berupa buah pisang.

- Kontainer yang digunakan berukuran 20”.
- Tidak menganalisa segi ekonomis.

1.4 Tujuan

- Mengetahui kebutuhan *soda lime* pada *reefer container* berefrigeran CO₂.
- Mengetahui dimensi wadah *soda lime* yang sesuai untuk proses pengikatan CO₂.

1.5 Manfaat

- Menjadi salah satu solusi pengurangan emisi CO₂ dari sistem pendinginan *reefer container* yang menggunakan CO₂ sebagai refrigeran.
- Sebagai salah satu referensi dalam pengembangan sistem pendinginan *reefer container* yang menggunakan CO₂ sebagai refrigeran yang ramah lingkungan dan hemat energi.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Container*

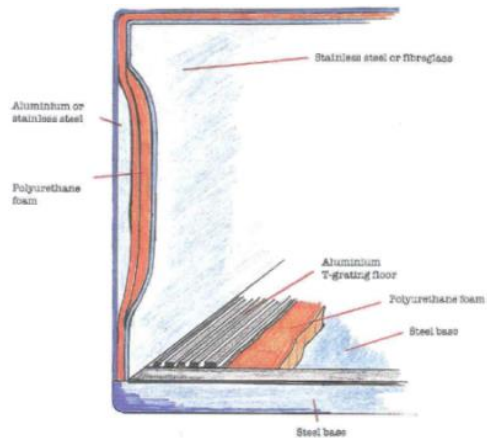
Container merupakan konstruksi plat yang membentuk balok yang didalamnya terdapat ruangan yang mengikuti standar Internasional Standard Organization (ISO) sebagai alat pengangkutan barang melalui peti kemas, kereta api, dan kapal. Jenis-jenis dari *container* bila dilihat dari komoditinya terdiri dari 2 jenis, yaitu *dry* dan *reefer container*.

2.1.1 *Dry container*

Dry container merupakan jenis *container* yang paling sederhana karena hanya tersusun 6 sisi plat. Jenis *container* ini bila dilihat dari ukurannya terdiri dari 3 jenis, yaitu ukuran 20' (20'x8'x8'6"), 40' (40'x8'x8'6") dan jenis high cube (40'x8'x9'6").

2.1.2 *Reefer container*

Jenis *container reefer container* ini dilengkapi sistem pendingin untuk menjaga suhu muatan *container* konstan sesuai suhu yang diinginkan. Hal ini diterapkan karena komoditi yang dibawa oleh *container* jenis ini umumnya komoditi yang harus disimpan dalam suhu dingin seperti buah, sayuran, ikan dan daging. Konstruksi dinding *container* jenis ini juga berbeda dengan konstruksi dinding *dry container*. Konstruksi dinding *container* terdiri dari tiga lapis, yaitu stainless steel, polyurethane foam dan aluminium.



Gambar 2.1. Lapisan dinding *reefer container*

Sumber : *Container Specification*, European Commission 2002

Dimensi *reefer container* yang sering digunakan dapat dilihat pada table berikut :

Tabel 2.1 Dimensi reefer container 20'

Construction	Inside Dimesions				Door Opening		Weight		Capacity
	Length	Width	Height	Max Stowage Height	Width	Height	Max Gross	Max Payloads	
	mm ft	mm ft	mm ft	mm ft	mm ft	mm ft	kg lbs	kg lbs	m ³ cu.ft
8' 6" high									
Steelframe, Walls; Outside plywood Coated with GRP Inside stainless Steel	5340 17' 6 1/4"	2200 7' 2 5/8"	2254 7' 4 3/4"	2154 7' 1/4"	2200 7' 2 5/8"	2220 7' 3 3/8"	24000 62910	3380 7450	26,4 932
	5479 17' 11 5/8"	2286 7' 6"	2257 7' 4 3/4"	2157 7' 7/8"	2286 7' 6"	2220 7' 3 3/8"	30480 57200	3160 6970	28,3 1000
Steelframe, Walls; Outside and Inside Stainless Steel	5459 17' 10 7/8"	2295 7' 6 1/8"	2268 7' 6"	2168 7' 1 3/8"	2291 7' 6 1/8"	2259 7' 4 7/8"	30480 57200	3160 6970	28,4 1003
	5448 17' 10 1/2"	2290 7' 6 1/8"	2264 7' 5 1/8"	2164 7' 1 1/8"	2286 7' 6"	2260 7' 5"	30480 57200	3160 6970	28,3 1000

Tabel 2.2 Dimensi reefer container 40'

Construction	Inside Dimensions				Door Opening		Weight			Capacity
	Length	Width	Height	Max Stowage Height	Width	Height	Max Gross	Tare	Max Payloads	
	mm ft	mm ft	mm ft	mm ft	mm ft	mm ft	kg lbs	kg lbs	kg lbs	m ³ cu.ft
8' 6" high										
Steelframe, Walls; Outside plywood Coated with GRP	11141 36' 4 5/8"	2197 7' 2"	2216 7' 3 3/4"	2096 6' 10 1/2"	2197 7' 2 1/2"	2173 7' 1 1/2"	30480 67200	6010 13250	24470 53950	54,2 1920
Inside GRP Steel	11141 36' 4 5/8"	2197 7' 2"	2216 7' 3 3/4"	2096 6' 10 1/2"	2197 7' 2 1/2"	2173 7' 1 1/2"	30480 67200	6010 13250	24470 53950	54,2 1920
Steelframe, Walls; Outside plywood Coated with GRP	11141 36' 4 5/8"	2197 7' 2"	2216 7' 3 3/4"	2096 6' 10 1/2"	2197 7' 2 1/2"	2173 7' 1 1/2"	30480 67200	6010 13250	24470 53950	54,2 1920
Inside stainless steel	11140 36' 4 5/8"	2226 7' 3 5/8"	2221 7' 3 3/8"	2101 6' 10 5/8"	2226 7' 3 5/8"	2173 7' 1 1/2"	30480 67200	6010 13250	24470 53950	55 1945
Steelframe, Walls; Outside aluminium Inside stainless Steel	11170 36' 8 5/8"	2286 7' 6"	2235 7' 4"	2115 6' 11 1/4"	2286 7' 6"	2200 7' 2 5/8"	30480 67200	5200 11460	25280 55740	57,3 2,023
	11192 36' 8 5/8"	2286 7' 6"	2240 7' 5 1/2"	2120 6' 11 1/2"	2286 7' 6"	2195 7' 2 3/8"	30480 67200	5200 11460	25280 55740	57,3 2,023
	11572 37' 11 5/8"	2286 7' 6"	2254 7' 4 1/4"	2134 7'	2286 7' 6"	2207 7' 2 7/8"	30480 67200	4400 9700	26080 57500	59,64 2106
Steelframes Rals Aluminium Wals; outside Aluminium inside Stainless steel	11558 37' 11"	2286 7' 6"	2188 7' 1 7/8"	2068 6' 9 3/8"	2286 7' 6"	2161 7' 1"	30480 67200	4140 9130	26340 58070	57,8 2023

Sumber : Container Specification, European Commission 2002

2.2 Pisang

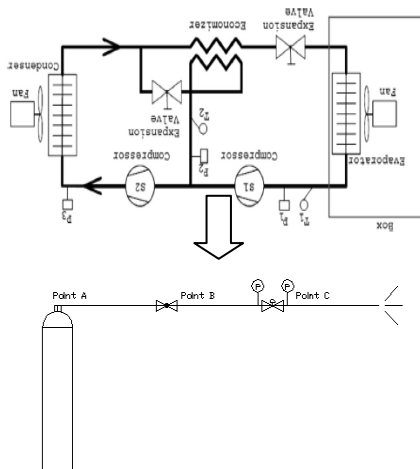
Pisang merupakan salah satu buah buahan tropis dengan suhu penyimpanan paling optimal berkisar 13-14°C dan temperature proses pemasakan sebesar 15-20°C (Kader, 2013). Di setiap jenis pisang memiliki ukuran, massa dan massa jenis tersendiri berikut merupakan data dari beberapa pisang.

Tabel 2.3 Data massa jenis beberapa jenis pisang

Properties	Banana cultivars		
	Embul	Seeni	Kalikuru
Volume (L)	16,60	8,33	18,75
Mass (kg)	17,16	9,62	19,5
Bulk density (kg m ⁻³)	154,77	173,36	201,07
True density (kg m ⁻³)	1034,48	1158,1	1040,99

Sumber : Wasala, 2012

2.3 Modifikasi Sistem Pendingin



Gambar 2.2 Modifikasi sistem pendingin

Sumber : Alkafh, 2014

Penggantian sistem pendingin dari pendinginan tidak langsung menjadi langsung menyebabkan sistem menjadi lebih

hemat energi karena proses pendinginan menjadi tidak membutuhkan energi listrik lagi.

Pada modifikasi yang telah dilakukan, dihasilkan suatu sistem pendinginan langsung dengan menggunakan CO₂ sebagai refrigeran. Dalam modifikasi tersebut didapatkan sistem pendinginan CO₂ menyebabkan berat kosong *container* naik sebesar 1038 kg tetapi biaya pengiriman menurun cukup besar (Alkahf, 2014). Akibat dari pendinginan langsung ini maka CO₂ akan terlepas secara bebas diruang muat.

2.4 Refrigeran CO₂

Refrigeran merupakan zat yang berfungsi sebagai media pendingin dengan menyerap panas dari ruang atau benda yang didinginkan yang kemudian panas tersebut akan dibuang. Jenis refrigeran yang sering digunakan antara lain R11, R12, R13, R22, R13A dan R774 (Alkahf, 2014).

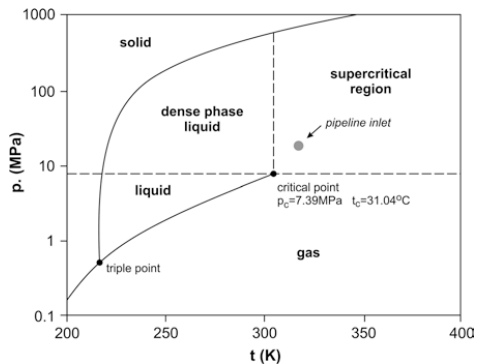
Akibat pengetatan regulasi penggunaan refrigeran berbahan chlorofluorocarbon (CFC) dan hydrochlorofluorocarbon (HCFC) maka CFC dan HCFC boleh dipergunakan akibat masalah yang diakibatkan pada lingkungan seperti pada rusaknya lapisan ozon dan global warming (Choi, 2014).

Maka sebagai salah satu solusi penggunaan refrigeran, digunakanlah refrigeran berbahan CO₂ (R744) yang memiliki nilai GWP yang rendah dan tidak merusak lapisan ozon (Ge dan Chopper, 2009 dalam Hu, Haitao dkk, 2015). Selain itu CO₂ memiliki performa pemindahan panas yang tinggi yang menyebabkan CO₂ menjadi menarik dalam bidang refrigeran dan aplikasi pemompaan panas (Hu, Haitao dkk, 2015).

2.5 Karbondioksida (CO₂)

Salah satu karakteristik karbondioksida yang dapat kita lihat adalah pada nilai critical temperatur yang rendah dari CO₂ yaitu 31,1 °C. Pada umumnya CO₂ dapat didistribusikan dalam pipa dalam bentuk gas, kondisi supercritical atau dalam bentuk cair

tergantung pada kondisi tekanan dan suhu pada perpipaan. (Witkowski, 2015)



Gambar 2.3 Diagram fase CO₂

Sumber Witkowski, 2015

2.6 Jenis Pengikat CO₂

Ada beberapa jenis zat kimia yang mampu mengikat CO₂, berikut merupakan beberapa contoh pengikat CO₂.

Tabel 2.4 Zat kimia pengikat CO₂ dan H₂O

Material	Ascarite II	Soda Lime	Drierite	Magnesium Perchlorate	Silica Gel
CO ₂ Interaction	Excellent scrubber	Excellent scrubber	Equilibrates/ Adds (slight)	None	Equilibrates
H ₂ O Interaction	Good scrubber	Adds	Very good scrubber	Excellent scrubber	Good scrubber
Indicating?	Yes	Usually	Yes	No	Yes
Hazardous?	Yes	No, If NaOH<4%	No	Yes	No
Final State	Liquid	No change	No change	Liquid	No change
For Longest Operation	Keep dry	Keep moist			
Regenerate?	No	No	Yes	No	Yes

Sumber : LI-COR, Using CO₂ and H₂O Scrubber with LI-COR Gas Analyzers

Dari table tersebut terdapat dua zat kimia yang mampu mengikat CO₂ dengan baik, yaitu ascarite II dan *soda lime*. Dari

kedua zat kimia tersebut dapat dilihat bahwa *soda lime* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan ascarite II.

Salah satu keunggulan dari *soda lime* yaitu *soda lime* lebih aman digunakan dibandingkan ascarite II selama kandungan NaOH dibawah 4%. Mengingat kandungan NaOH dalam *soda lime* sangat kecil berkisar 1-8%.

2.7 Soda lime

Soda lime merupakan salah satu campuran zat kimia yang memiliki kemampuan untuk mengikat karbondioksida. Berikut merupakan kandungan zat kimia di dalam *soda lime*.

Tabel 2.5 Kandungan zat kimia pada *soda lime*

Kalsium Hidroksida	70-90%
Air	2-20%
Sodium Hidroksida	1-8%
Potasium Hidroksida	0-1%

Sumber : LI-COR, Using CO₂ and H₂O Scrubber with LI-COR Gas Analyzers

Soda lime memiliki bentuk butiran-butiran kecil berwarna putih krim, keras dan dibuat sedemikian rupa sehingga memperkecil kemungkinan terbentuknya formasi debu. Selain itu bentuk *soda lime* juga dibentuk sedemikian rupa sehingga memiliki luasan permukaan yang besar (Li-COR).

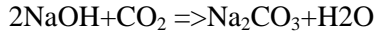
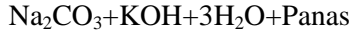
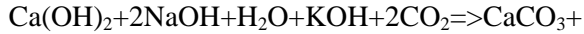


Gambar 2.4 *Soda lime*

Sumber : <http://www.premchemltd.com/products/soda-lime/spherasorb/>

2.8 Proses Reaksi Kimia Dalam Pengikatan CO₂ oleh *Soda lime*

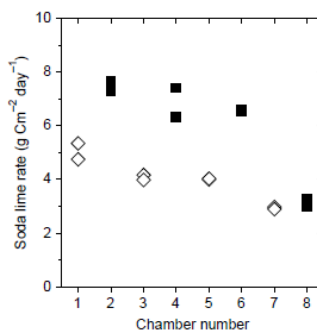
Berikut merupakan reaksi kimia dari *soda lime* (Grogan, Paul, Jun 1998).



Hasil dari proses kimia tersebut merupakan air, Na₂CO₂ dan CaCO₂. Selain menghasilkan kedua zat kimia tersebut, proses tersebut juga menghasilkan panas yang mampu mengubah air berubah fasa menjadi uap air.

2.9 Faktor Pertimbangan Dalam Pendesainan Wadah *Soda lime*

Efektifitas pengikatan CO₂ oleh *soda lime* bergantung dari beberapa faktor. Kapasitas dan efisiensi dari *soda lime* untuk mengikat CO₂ bergantung pada besarnya jumlah *soda lime* dan luasan permukaan dari *soda lime* yang bersentuhan langsung dengan udara (Keith, H., & Wong, S.C., 2005). Pada hasil penelitian oleh Keith dapat kita lihat bahwa kecepatan pengikatan CO₂ dari udara bergantung pada luasan permukaan *soda lime*.



Gambar 2.5 Grafik pengikatan CO₂ dari udara

Sumber : Keith, H., & Wong, S.C., 2005

2.10 Keseimbangan Energi Pada Pendinginan Muatan

Pada perhitungan kebutuhan pendingin karbondioksida, panas beban pendinginan akan diserap oleh karbondioksida cair didalam tabung, sehingga karbondioksida akan menguap dan suhunya meningkat. Untuk menghitungnya maka persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$Q_{\text{serap}} = Q_{\text{lepas}}$$

$$m_{\text{CO}_2} \cdot C_{p \text{ CO}_2} \cdot \Delta T + m_{\text{CO}_2} \cdot L_{\text{CO}_2} = Q_{\text{total}} \quad (1)$$

Dimana.

m_{CO_2} = Massa karbondioksida (kg)

$C_{p \text{ CO}_2}$ = Panas spesifik karbondioksida (kJ/kg°C)

ΔT = Selisih T_1 dengan T_2 (14°C) CO_2

L_{CO_2} = Panas spesifik perubahan fase karbondioksida cair ke gas (kJ/kg)

2.11 Kapasitas Aliran Gas Pada Valve Pengatur Kapasitas

Kapasitas aliran fluida dapat diatur dengan menggunakan flow control valve dan dihitung dengan persamaan berikut.

$$Q = 16,05 \cdot C_v \cdot [\sqrt{(P_1^2 - P_2^2)} / (T \cdot S_g)] \quad (2)$$

Sumber : Flow Calculation & Valve Sizing Guidelines, Parker Instrumentation

Dimana

C_v = Flow coefficient valve

P_1 = Tekanan awal fluida

P_2 = Tekanan akhir fluida

T = Temperatur fluida

S_g = Specific gravity dari fluida

2.12 Flux Pengikatan Karbondioksida

Flux merupakan kecepatan pencampuran antar zat kimia. Pada percobaan yang telah dilakukan oleh Keith untuk proses

pengikatan karbondioksida oleh *soda lime* digunakan persamaan berikut.

$$J = ((m_{CO_2}/T)/A) \times (12/44) \quad (3)$$

Apabila disederhanakan menjadi.

$$J = (\dot{m}/A) \times (12/44) \quad (4)$$

Atau

$$A = (\dot{m}/J) \times (12/44) \quad (5)$$

Dimana

m_{CO_2} = Massa karbondioksida

T = Waktu proses pengikatan

A = Luas permukaan wadah *soda lime*

\dot{m} = Kapasitas massa pengikatan karbondioksida

2.13 Keseimbangan Energi Proses Pengikatan CO₂

Persamaan keseimbangan energi ini berdasarkan hukum kekekalan energi ke 0 yang menyatakan energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan. Berikut merupakan persamaan tersebut.

$$Q_{acc} = Q_{In} - Q_{out} + Q_{gen} \quad (6)$$

Dimana pada proses pengikatan karbondioksida diasumsikan tidak terjadi akumulasi energi (Q_{acc}) sehingga energi yang dalam proses kimia berupa panas akan langsung diserap oleh zat kimia didalam wadah *soda lime*. Sedangkan energi masuk (Q_{In}) berasal dari zat kimia yang mengalami proses kimia dan Q_{out} merupakan energi yang diserap oleh zat kimia didalam wadah *soda lime*. Selain itu pada proses kimia didalam wadah *soda lime* juga menghasilkan energi panas (Q_{gen}) karena proses pengikatan berlangsung secara eksotermis. Sehingga persamaan diatas dapat dijabarkan menjadi.

$$0 = \sum m_{in} \cdot c \cdot \Delta T - \sum m_{out} \cdot c \cdot \Delta T + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L \quad (7)$$

$$0 = (m_{CO_2} \cdot c_{CO_2} \cdot \Delta T) + (n_{Ca(OH)_2} \cdot c_{n \text{ Ca(OH)}_2} \cdot \Delta T) - (((m_{Ca(OH)_2} / \rho_{n \text{ Ca(OH)}_2} \cdot c_{n \text{ Ca(OH)}_2} \cdot \Delta T) + (m_{NaOH} \cdot c_{NaOH} \cdot \Delta T) + (m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T) + (m_{KOH_2} / \rho_{n \text{ KOH}_2} \cdot c_{n \text{ KOH}_2} \cdot \Delta T) + (m_{CaCO_3} \cdot c_{CaCO_3} \cdot \Delta T)) + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L \quad (8)$$

$$0 = \sum m_{in} \cdot c \cdot \Delta T - \sum m_{out} \cdot c \cdot \Delta T + (-\Delta H_{rx}) \quad (9)$$

$$0 = (m_{CO_2} \cdot C_{CO_2} \cdot \Delta T) + (n_{Ca(OH)_2} \cdot C_{n \text{ Ca(OH)}_2} \cdot \Delta T) - (((m_{Ca(OH)_2} / n_{Ca(OH)_2} \cdot C_{n \text{ Ca(OH)}_2} \cdot \Delta T) + (m_{NaOH} \cdot C_{NaOH} \cdot \Delta T) + (m_{H_2O} \cdot C_{H_2O} \cdot \Delta T) + (m_{KOH_2} / n_{KOH_2} \cdot C_{n \text{ KOH}_2} \cdot \Delta T) + (m_{CaCO_3} \cdot C_{CaCO_3} \cdot \Delta T)) + (-\Delta H_{Rx}) \quad (10)$$

Dimana

- m_{CO_2} = massa karbondioksida yang bereaksi dalam setiap pembilasan. (kg)
- c_{CO_2} = kapasitas panas karbondioksida per massa (J/kg K)
- ΔT = selisih temperatur awal dan akhir pada proses reaksi. (K)
- $m_{Ca(OH)_2}$ = massa kalsium hidroksida yang tersisa dari proses reaksi kimia (kg)
- $n_{Ca(OH)_2}$ = jumlah molekul kalsium hidroksida yang bereaksi kimia. (mol)
- $c_{n \text{ Ca(OH)}_2}$ = kapasitas panas kalsium hidroksida per molekul (J/mol K)
- $\rho_{n \text{ Ca(OH)}_2}$ = massa jenis molekul dari kalsium hidroksida (kg/mol)
- m_{NaOH} = massa sodium hidroksida (kg)
- c_{NaOH} = kapasitas panas natrium hidroksida per massa (J/kg K)
- m_{H_2O} = massa air (kg)
- c_{H_2O} = kapasitas panas air per massa (J/kg K)
- m_{KOH_2} = massa potasium hidroksida (kg)
- $\rho_{n \text{ KOH}_2}$ = massa jenis molekul dari potasium hidroksida
- $c_{n \text{ KOH}_2}$ = kapasitas panas per molekul potasium hidroksida (J/mol K)
- m_{CaCO_3} = massa kalsium karbonat (kg)
- c_{CaCO_3} = kapasitas panas per massa kalsium karbonat (J/kg K)
- H_t = Panas hasil reaksi pengikatan karbondioksida (J)

2.14 Persamaan Bernouli

Persamaan bernouli merupakan persamaan yang memperhitungkan keadaan aliran fluida pada perubahan tekanan, kecepatan ataupun ketinggian. Berikut merupakan persamaan bernouli.

$$P_1 + ((1/2) \cdot V_1^2 \cdot \rho_1) + \rho_1 \cdot g \cdot h_1 = P_2 + ((1/2) \cdot V_2^2 \cdot \rho_2) + \rho_2 \cdot g \cdot h_2 \quad (11)$$

Dimana

V = kecepatan aliran fluida

ρ = massa jenis fluida

P = tekanan fluida

g = percepatan gravitasi

h = head aliran fluida

Bila nilai head dari aliran fluida awalnya dianggap sama pada sebelum dan setelah valve dan fluida pada awalnya diam maka rumus bernouli dapat disederhanakan menjadi.

$$(V_2^2 \cdot \rho_2) / 2 = P_1 - P_2 \quad (12)$$

Bila head dari karbondioksida dianggap sama pada aliran sebelum melalui valve maupaun setelah melalui valve maka persamaan bernouli dapat disederhakan menjadi.

$$P_2 = (P_1 + (1/2 \cdot V_1^2)) - (1/2 \cdot V_2^2) \quad (13)$$

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

Bab ini berisikan mengenai metodologi kerangka dasar proses pengerjaan penelitian ini. Metode penulisan yang digunakan berupa analisa terhadap permasalahan yang ada.

3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Sebelum proses pengerjaan penelitian maka penting untuk merumuskan masalah-masalah yang ada lalu disusun dengan rapi untuk mempermudah pengerjaan penelitian tersebut. Selain itu perlu adanya pembatasan masalah agar penelitian terfokuskan dan tidak meluas sehingga penulisan analisa masalah menjadi efisien dan sesuai dengan masalah yang dibahas.

3.2 Studi Literatur

Studi literature bertujuan untuk mencari berbagai referensi serta data yang berhubungan dengan penelitian ini. Referensi dan data tersebut dapat bersumber dari buku, tugas akhir, tesis, paper, wawancara langsung, data tehnik, internet dan lain-lain.

3.3 Pengumpulan Data

Dalam mengerjakan penelitian ini dibutuhkan beberapa data-data . Pengumpulan data tersebut berguna untuk menunjang dalam proses pengerjaan penelitian ini. Data yang diambil sebaiknya sesuai dengan keadaan atau kondisi yang benar-benar akurat agar nantinya penelitian ini menghasilkan suatu karya ilmiah yang baik dan dapat diterapkan.

3.4 Pembagian Ruang Kontainer

Pada langkah ini kami membagi ruang kontainer, dimana ruang kontainer akan dibagi menjadi 2. Satu ruangan sebagai ruang muat komoditi dan satu ruang untuk ruang tabung CO₂. Semakin besar ruang muat maka massa komoditi yang dibawa juga semakin besar, sedangkan semakin besar massa muatan yang

dibawa maka semakin besar kebutuhan CO₂ untuk proses pendinginan. Semakin besar kebutuhan CO₂, maka semakin besar ruang CO₂ yang dibutuhkan. Sehingga dalam pembagian ruang kontainer ini perlu disesuaikan dengan perhitungan kebutuhan pendingin CO₂.

3.5 Menghitung Beban Pendinginan

Perhitungan beban pendinginan ini bertujuan untuk memperhitungkan beban pendinginan yang diakibatkan oleh beban produk yang bersumber dari muatan, beban transmisi akibat perbedaan suhu wadah *soda lime* serta lingkungan dengan ruang muat kontainer dan beban infiltrasi akibat percampuran udara ruang muat dan udara luar kontainer.

3.6 Perhitungan Kebutuhan Refrigeran Karbondioksida

Setelah mengetahui seberapa besar beban pendinginan yang terjadi, maka kita akan menghitung kebutuhan pendingin CO₂. Setelah kita mendapatkan kebutuhan pendingin CO₂ maka kita dapat menentukan ukuran ruang tabung CO₂.

3.7 Desain Sistem Pendinginan

Pendesainan sistem pendingin ini bertujuan untuk menentukan komponen yang dapat membantu proses pendinginan dan menjelaskan proses pendinginan yang terjadi.

3.8 Pendesainan Wadah *Soda lime*

Dalam perhitungan ini, kita akan menentukan kebutuhan ukuran wadah *soda lime*, penempatan wadah *soda lime*, penentuan lapisan dinding wadah *soda lime* dan desain bagian dalam wadah *soda lime*.

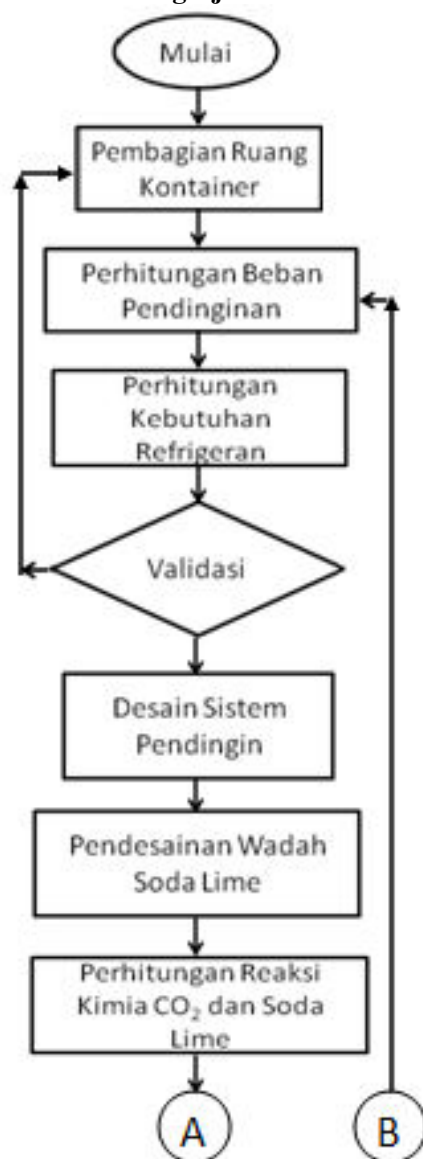
3.9 Perhitungan Reaksi Kimia Dalam Pengikatan CO₂ Oleh Soda lime

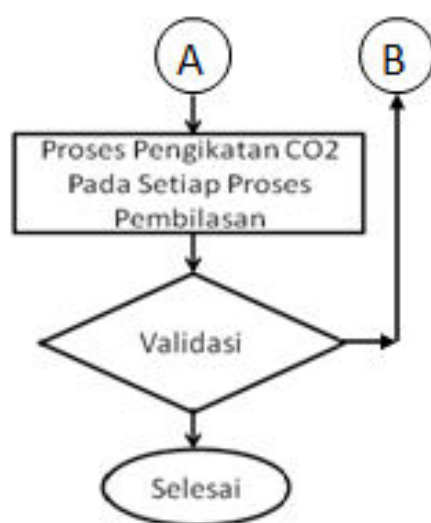
Perhitungan ini bertujuan untuk memperhitungkan panas yang dihasilkan akibat proses reaksi kimia antara *soda lime* dan CO₂.

3.10 Proses Pengikatan CO₂ Pada Setiap Proses Pembilasan

Melalui perhitungan ini kita dapat mengetahui temperatur dan kondisi zat kimia yang terkandung didalam wadah *soda lime*. Temperatur dari zat kimia di dalam wadah *soda lime* ini nantinya akan menjadi beban pendinginan transmisi untuk sistem pendingin.

3.11 Flow Chart Proses Pengerjaan





“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

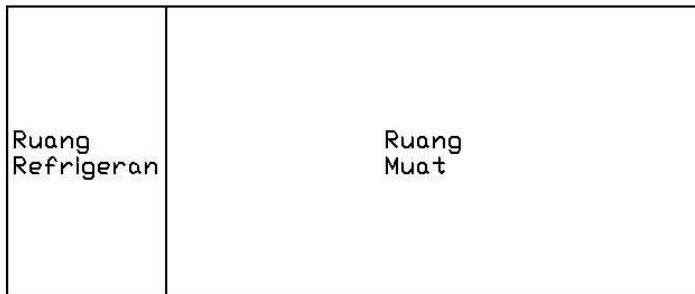
Dalam penulisan tugas akhir ini, akan dihitung kebutuhan *soda lime* dalam upaya untuk mengikat karbondioksida sebagai emisi didalam sistem pendinginan pada modifikasi sistem pendinginan kontainer dengan menggunakan karbondioksida pada penelitian sebelumnya. Serta mendesain wadah *soda lime* pada kontainer dengan sistem pendingin menggunakan karbondioksida. Berikut merupakan detail perhitungan dalam penelitian ini.

4.1 Pembagian Ruang Muat

Tahap pertama yang harus kita lakukan adalah membagi ruang muat kontainer. Berikut merupakan ukuran dalam kontainer.

Tabel 4.1 Pembagian ruang kontainer

	Kontainer	R. Simpan	R. Tabung CO ₂
P	5,479 m	4,229 m	1,250 m
L	2,286 m	2,286 m	2,286 m
T	2,257 m	2,257 m	2,257 m



Gambar 4.1 Pembagian ruang kontainer

4.2 Penentuan Pengkondisian Udara Ruang Muat

Penentuan pengkondisian ruang muat dalam penelitian ini berkonsentrasi untuk mengatur suhu dan tekanan dari ruang muat.

4.2.1 Tekanan Udara Ruang Muat Dengan Analisa ANSYS

Penentuan tekanan udara ini dilakukan karena konstruksi kontainer bukan didesain sebagai pressure vessel dan memiliki kekuatan konstruksi untuk menahan tekanan udara pada nilai tertentu. Penentuan tekanan udara maksimal yang dapat berada di dalam kontainer telah ditentukan sebesar 2,9 bar.

4.2.1.1 Penentuan Parameter

Sebelum melakukan perancangan motor hidrolis dan simulasi pada software ANSYS, terlebih dahulu dilakukan penentuan parameter awal sebagai dasar dalam pembuatan sistem, adapun parameter awal tersebut antara lain sebagai berikut:

- Tebal plat kontainer adalah 7,5 mm .
- Berat muatan 14500 kg.
- Dimensi ruang dalam kontainer dalam sebagai berikut:
 - Panjang : 5,479 m
 - Lebar : 2,286 m
 - Tinggi : 2,257 m
- Dimensi luar kontainer sebagai berikut:
 - Panjang : 6,096 m
 - Lebar : 2,438 m
 - Tinggi : 2,590 m
- Luasan dinding kontainer dalam (Ad).
- Luasan dinding kontainer luar (Al).
- Gaya resultan yang diterima oleh dinding kontainer (F).
- Batas kekuatan kontainer.
- Luas dinding permukaan dalam kontainer.
 - [] Luas dinding depan atau belakang sebesar 5,195 m².
 - [] Luas dinding samping kiri atau kanan sebesar 12,366 m².
 - [] Luas dinding atas atau bawah sebesar 12,525 m².

- Luas dinding permukaan luar kontainer
 - [] Luas dinding depan atau belakang sebesar $6,316 \text{ m}^2$.
 - [] Luas dinding samping kiri atau kanan sebesar $15,791 \text{ m}^2$.
 - [] Luas dinding atas atau bawah $14,864 \text{ m}^2$.
- Gaya resultan yang diterima pada dinding kontainer.

Adanya gaya ini akibat perbedaan tekanan udara dari dalam kontainer dan luar kontainer. Dimana tekanan ini akan mendorong permukaan dinding kontainer sesuai asal tekanan. Akibat tekanan udara dari dalam kontainer lebih besar dibandingkan tekanan dari luar kontainer maka dihasilkan suatu gaya resultan yang mengarah keluar dari kontainer. Khusus untuk perhitungan besar gaya yang mengarah kebawah pada dinding bawah (lantai) harus ditambahkan berat muatan.

- Batas kekuatan kontainer

Menurut salah satu spek yang saya temukan, nilai kekuatan plat dari konstruksi kontainer bernilai 481 N/mm (tensile strength). Dimana semakin besar nilai tensile strength maka semakin kuat kekuatan plat untuk menahan tekanan yang diterima oleh plat kontainer.

3.2 Part specification

Parts	Materials by JIS
1) Door panels	Anti-corrosive steel. SPA-H or equivalent
Roof panels	Y.P.: 343 N/mm^2
Side panels	T.S.: 481 N/mm^2
Front panels	

Gambar 4.2 Kekuatan plat konstruksi pada kontainer

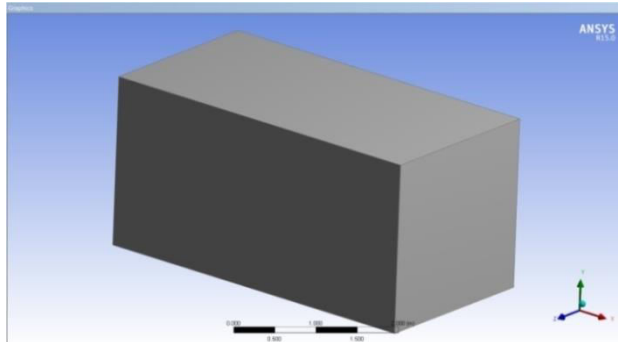
Sumber: Steinecker *Containerhandel*, 2012

4.2.1.2 Proses Analisa Simulasi Software CFD

Setelah parameter telah ditentukan, maka parameter yang didapat akan dijadikan sebagai dasar dalam proses penginputan simulasi software CFD.

- Penggambaran Geometry Pada ANSYS

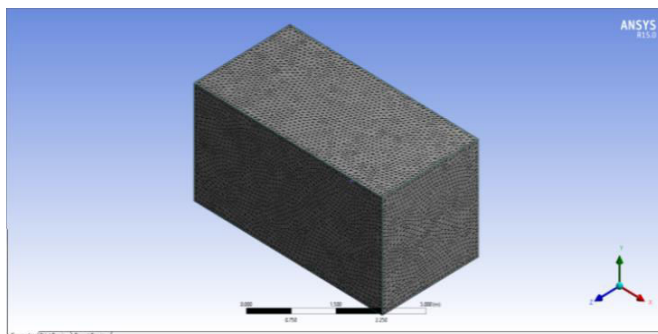
Tahapan awal dalam simulasi CFD adalah dengan pembuatan desain geometry dari benda kerja, dimana pada pengerjaan skripsi ini adalah kontainer.



Gambar 4.3 Geometry objek

- Proses Meshing Geometry

Sebelum pada proses solving CFD ANSYS, maka proses pre-processing harus dilakukan dengan baik. Untuk itu maka dilakukanlah proses meshing seperti yang tampak pada gambar dibawah ini.

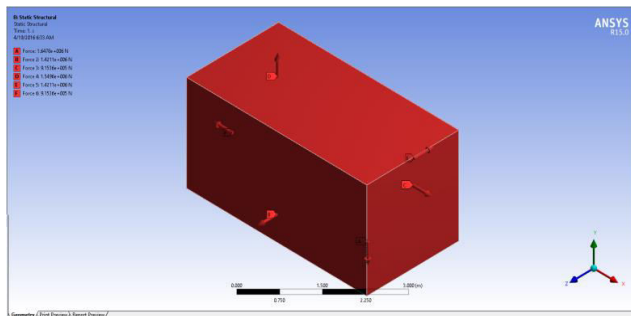


Gambar 4.4 Hasil meshing objek

- Pemberian Perlakuan

Pemberian perlakuan adalah pemberian gaya, tekanan atau beban pada bidang yang ingin kita analisa. Bidang yang kita beri perlakuan pada simulasi ini adalah wall.

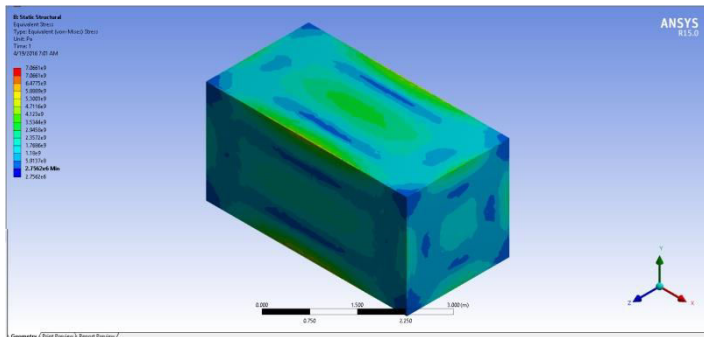
Wall pada simulasi ini merupakan setiap dinding dari kontainer. Pemberian perlakuan dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.5 Pemberian perlakuan pada dinding kontainer

- Solver

Tahap solver merupakan tahap dimana geometry yang telah di meshing mulai diberi imputansi dan ditentukan boundarynya. Pada tahapan input nilai ini, benda kerja yang menjadi objek pada penelitian saya, saya inputkan nilai force resultan dari variasi tekanan hingga saya mendapatkan stress pada dinding kontainer yang paling mendekati nilai kekuatan maksimal dari kontainer. Berikut merupakan tampilan hasil akhir dari analisa CFD ANSYS.



Gambar 4.6 Hasil analisa ANSYS

- Nilai Tekanan Maksimal Udara di Dalam Kontainer

Setelah mencari nilai tekanan maksimal udara dalam kontainer dengan menggunakan analisa CFD ANSYS, maka didapatkan nilai tekanan maksimal udara dalam yang mampu ditahan oleh struktur dinding kontainer sebesar 2,9 bar.

4.2.2 Pengaturan Temperatur Ruang Muat

Pengaturan temperatur ruang muat didasarkan pada suhu penyimpanan optimum dari komoditi. Dimana dalam penelitian ini komoditi yang digunakan adalah buah pisang dan temperatur optimum dari buah pisang adalah 14°C

4.3 Beban Pendinginan

Beban pendinginan dalam penelitian reefer container ini dibagi menjadi 3 jenis yaitu, beban produk, beban infiltrasi dan beban transmisi.

4.3.1 Beban Produk

Beban produk adalah beban pendinginan pada proses pendinginan komoditi dan yang dilepaskan oleh komoditi akibat perbedaan suhu komoditi dan temperatur penyimpanan komoditi.

Sebelum perhitungan beban pendinginan pada produk (komoditi), maka kita perlu memperhitungkan massa muatan

berdasar rencana pengisian dengan volume ruang muat sebesar $21,819 \text{ m}^3$ hasil perhitungan panjang, lebar dan tinggi dimensi dalam ruang muat. Apabila didalam ruang muat diisi kardus dengan volume 75% dari ruang muat dan di dalam kardus terdapat pisang dengan volume 85% dari volume kardus sedangkan massa jenis pisang adalah 1034 ton/m^3 , maka massa pisang didalam ruang muat sebesar $14382,89 \text{ kg}$. Dimana dalam penelitian massa pisang dibulatkan menjadi 14500 kg .

Lalu dengan menggunakan persamaan neraca panas dimana C_{komoditi} sebesar $3,35 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$ dengan proses pendinginan komoditi dari temperatur 20°C menjadi 14°C . Maka didapatkan nilai kalor (Q_{komoditi}) yang harus diserap dari komoditi sebesar 291450 kJ atau sebesar (P_{komoditi}) $421,658 \text{ W}$ selama 8 hari.

4.3.2 Beban Transmisi

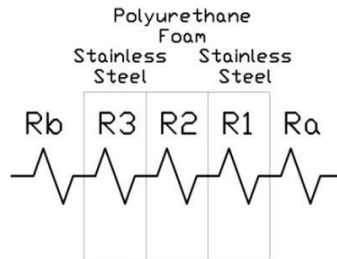
Beban transmisi adalah beban panas akibat adanya panas yang ditransmisikan ke dalam kontainer akibat perbedaan temperatur antaran lingkungan luar kontainer dan dalam kontainer. Sebelum memulai proses perhitungan kita perlu menentukan luasan daerah perpindahan panas dari kontainer. Berikut merupakan luasan daerah perpindahan panas dari kontainer untuk perpindahan panas dengan udara luar.

[] Luas dinding depan dan belakang (pintu) sebesar $8,519 \text{ m}^2$

[] Luas dinding samping kiri kanan sebesar $19,089 \text{ m}^2$

[] Luas dinding atas dan bawah sebesar $19,335 \text{ m}^2$

Sehingga didapatkan nilai luasan permukaan total sebesar $46,945 \text{ m}^2$. Kemudian kita memodelkan tahanan termal dari lapisan dinding kontainer dimana nilai konduktivitas termal dapat dilihat pada tabel berikut.



Gambar 4.7 Pemodelan tahanan thermal pada lapisan dinding *reefer container*

Tabel 4.2 Konduktifitas thermal lapisan dinding *reefer container*

No.	Nama Bahan	Konduktivitas Thermal	Ketebalan
1	Stainless Steel	16 W/mK	0,0075 m
2	Polyurethane F.	0,04 W/mK	0,33 m

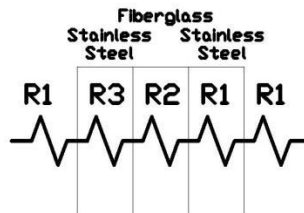
ho_1 = Koefisien konveksi udara
 $= 0,0262 \text{ W/m}^2\text{K}$

ho_2 = Koefisien konveksi Karbondioksida
 $= 0,0138 \text{ W/m}^2\text{K}$

Sehingga nilai tahanan thermal total (R_{total}) sebesar 110,981 $\text{m}^2\text{K/W}$. Langkah selanjutnya kita mencari nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) dan didapatkan nilai 0,009 $\text{W/m}^2\text{K}$. Sehingga dari nilai luasan permukaan perpindahan panas, koefisien perpindahan panas menyeluruh dan selisih suhu ruang muat dengan lingkungan maka nilai daya beban pendinginan transmisi (P_{tri}) akibat suhu udara luar dapat dan menghasilkan nilai 6,979 W.

Perhitungan berikutnya merupakan perhitungan beban pendinginan akibat perbedaan suhu dengan wadah *soda lime* dimana suhu wadah *soda lime* mampu mencapai 132°C . Pertama-tama kita memperhitungkan luasan permukaan perpindahan panas dari wadah *soda lime* dengan luasan wadah *soda lime* yang bersebelahan dengan dinding ruang muat sebesar 1,8296 m^2 .

Kemudian kita memodelkan tahanan termal dari lapisan dinding kontainer dimana nilai konduktivitas termal dapat dilihat pada tabel berikut.



Gambar 4.8 Pemodelan tahanan termal lapisan dinding wadah *soda lime*

Tabel 4.3 Konduktifitas Termal Lapisan pada Dinding Wadah *Soda lime*

No.	Nama Bahan	Konduktivitas Thermal	Ketebalan
1	Stainless Steel	16 W/mK	0,005 m
2	Fiberglass	0,04 W/mK	0,02 m

$$\begin{aligned}
 h_{o1} &= \text{Koefisien konveksi Karbondioksida} \\
 &= 0,0138 \text{ W/m}^2\text{K}
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai tahanan termal total (R_{total}) sebesar 145,428 $\text{m}^2\text{K/W}$. Langkah selanjutnya kita mencari nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) dan didapatkan nilai 0,01 $\text{W/m}^2\text{K}$. Sehingga dari nilai luasan permukaan perpindahan panas, koefisien perpindahan panas menyeluruh dan selisih suhu ruang muat dengan lingkungan maka nilai daya beban pendinginan transmisi (P_{tr2}) akibat suhu udara luar dan menghasilkan nilai 1,485 W. Maka nilai daya beban pendinginan transmisi total sebesar. Dari nilai daya beban pendinginan transmisi dari lingkungan dan dari wadah *soda lime*, maka didapatkan nilai daya tahanan termal total sebesar 8,464 W.

4.3.3 Beban Infiltrasi

Bila muatan dimasukkan di Surabaya dengan keadaan udara bertemperature 32°C dan memiliki kelembaban relatif 62% dan temperature pada ruang muat bersuhu 14°C dengan kelembapan relatif 80%, maka bisa kita dapatkan nilai entalpi dari diagram psychometric yaitu $38,8 \text{ kJ/kg}$ untuk udara luar dan $23,6 \text{ kJ/kg}$.

Dengan volume ruangan sebesar $21,819 \text{ m}^3$ dan massa jenis udara sebesar $1,2 \text{ kg/m}^3$. Dari nilai yang telah diketahui maka didapatkan nilai beban pendinginan transmisi (Q_{tr}) sebesar 483 J yang terjadi selama 8 hari dengan mengalikan volume ruangan, massa jenis udara dan selisih nilai entalpi. Bila proses infiltrasi udara luar terjadi hanya selama 2 jam maka daya beban infiltrasi ($P_{infiltrasi}$) sebesar $0,0014 \text{ W}$.

4.3.4 Beban Pendinginan Total

Dari nilai dari beban produk, infiltrasi dan transmisi, maka kita dapat menghitung daya beban pendinginan total dengan menjumlahkannya, sehingga didapatkan nilai sebesar $430,123 \text{ W}$ atau panas sebesar $29730,3 \text{ kJ}$.

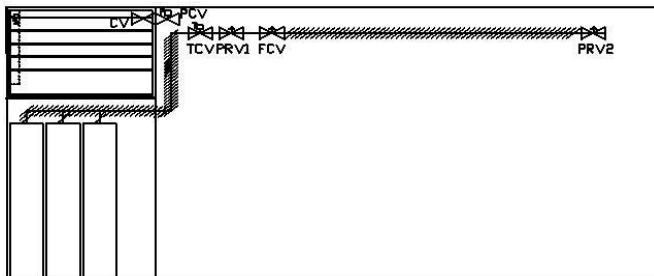
4.4 Perhitungan Kebutuhan Refrigeran Karbondioksida

Dari perhitungan beban total maka kita dapat memperhitungkan kebutuhan pendingin karbondioksida dengan persamaan (1), dimana nilai panas spesifik karbondioksida sebesar $0,82 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$, selisih temperatur awal dan akhir sebesar 238°C dan panas spesifik laten karbondioksida sebesar 301 kJ/kg . Sehingga didapatkan nilai kebutuhan gas karbondioksida sebesar 599 kg atau sebanyak 24 tabung dengan massa 25 kg/tabung . Untuk mencegah kekurangan kebutuhan pendingin karbondioksida akibat kesalahan dalam perhitungan maka jumlah tabung ditambahkan 15% sehingga ruang muat tabung mampu menampung 28 tabung.

4.5 Desain Sistem Pendinginan

Setelah kita mendapatkan perkiraan kebutuhan refrigeran dan pembagian ruang kontainer maka langkah berikutnya adalah dengan mendesain komponen sistem pendinginan pada ruang muat dan komoditi.

Komponen utama dari sistem pendinginan pada penelitian ini adalah tabung CO₂, temperature controlled valve, pressure reduction valve 1, flow control valve, pressure reduction valve 2, pressure controlled valve dan check valve.



Gambar 4.9 Sistem pendingin

4.5.1 Temperature Controlled Valve (TCV)

Valve ini berfungsi untuk mengatur suhu pada ruang muat kontainer untuk tetap pada suhu yang diinginkan dengan jalan menghentikan aliran karbondioksida apabila ruang muat sudah bersuhu 14 °C. Sedangkan pada wadah *soda lime* valve akan terbuka apabila suhu ruang *soda lime* melebihi 100 °C.

4.5.2 Pressure Reduction Valve 1 (PRV1)

Pada valve ini tekanan dari tabung yang berkisar 14 bar akan diturunkan menjadi 10 bar. Akibat turunnya tekanan gas karbondioksida, maka dengan menggunakan persamaan gas ideal didapatkan nilai temperatur gas karbondioksida turun menjadi -99°C dari -30°C.

4.5.3 Flow Control Valve (FCV)

Flow control valve berfungsi untuk mengatur kapasitas aliran karbondioksida menuju ruang penyimpanan. Untuk mengetahui kapasitas karbondioksida pada sistem tersebut maka dilakukan perhitungan berikut ini. Pertama tama kita mencari kecepatan aliran sebelum valve tersebut atau setelah PRV1 dengan menggunakan persamaan (12).

Setelah itu kita memperhitungkan kecepatan karbon dioksida mengalir setelah valve. Dimana dilakukan globe valve tertutup sekitar 10% atau terbuka sebesar 90%. Dengan persamaan kapasitas aliran sebelum dan sesudah valve maka didapatkan nilai kecepatan akhir 52,722 m/s.

Akibat peningkatan kecepatan karbondioksida ini maka tekanan aliran karbondioksida akan menurun. Untuk menghitung tekanan setelah melalui valve maka digunakan persamaan (13). Dari perhitungan dengan persamaan tersebut didapatkan tekanan akhir sebesar 9,997 bar.

Dengan menggunakan persamaan (2) yang tercantum didalam panduan pemilihan valve pada flow control valve maka kita dapat memperhitungkan kapasitas dari aliran setelah globe valve dengan nilai C_v sebesar 17,2 dan S_g karbondioksida 1,52. Maka didapatkan kapasitas karbondioksida sebesar 0,000957 m^3/s .

Dari nilai kapasitas tersebut maka kita dapat memperhitungkan laju massa dari karbondioksida bila diketahui massa jenis karbondioksida sebesar 18 kg/m^3 dan didapatkan hasil sebesar 0,0172 kg/s. Apabila jumlah karbondioksida yang harus dialirkan sebesar 700 kg, maka lama proses pendinginan sebesar 11,287 jam.

4.5.4 Pressure Reduction Valve 2 (PRV2)

Pada valve ini tekanan dari valve sebelumnya yang sebesar 10 bar akan diturunkan menjadi 2,8 bar. Akibat turunnya tekanan gas karbondioksida, maka dengan menggunakan persamaan gas

ideal didapatkan nilai temperatur gas karbondioksida turun menjadi -224°C dari -99°C .

4.5.5 Pressure Controlled Valve (PCV)

Valve ini berfungsi untuk mengambil gas karbondioksida dari ruang muat untuk kemudian dialirkan ke dalam wadah *soda lime*. Valve disetting untuk terbuka pada tekanan 2,9 bar yang merupakan tekanan maksimal didalam kontainer.

4.5.6 Check Valve (CV)

Check valve atau non return valve berfungsi untuk menahan udara di dalam wadah *soda lime* untuk tidak keluar ke ruang muat.

4.5.7 Proses Pembilasan Udara Pada Ruang Muat

Proses pembilasan ini terjadi untuk mengganti udara pada tekanan maksimal yang ditentukan dengan udara baru hingga tekanan maksimal yang ditentukan tercapai kembali. Proses pembilasan itu juga untuk memastikan proses pendinginan ruang muat tetap berjalan dan tidak terhenti akibat tekanan udara ruang muat lebih tinggi dibanding tekanan udara pada pipa penyemprot gas karbondioksida ke dalam ruang muat. Berikut merupakan perhitungan jumlah proses pembilasan udara pada ruang muat.

Sebelum kita menghitung jumlah proses pembilasan maka pertama-tama kita harus memperhitungkan volume ruang muat yang kosong (V_k) pada ruang muat atau ruang yang dapat diisi oleh udara, apabila volume ruang muat yang terisi kardus sebesar 75% dari volume ruang muat dan volume pisang didalam kardus sebesar 0,85%. Maka didapatkan besar volume ruang muat yang kosong sebesar $7,909 \text{ m}^3$.

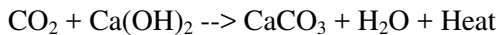
Apabila gas CO_2 terdapat di ruang muat pada temperatur (T) 20°C (293 K) (suhu awal muatan), tekanan (P) 290000 Pa (tekanan udara maksimal) dan jumlah molekul sebanyak 15905 mol, maka volume gas karbondioksida dapat dihitung dengan persamaan gas ideal. Dari perhitungan tersebut didapatkan

volume gas karbondioksida sebesar 132,266 m³. Maka jumlah proses pembilasan dapat dihitung dengan membagi volume gas karbondioksida dengan volume ruang kosong ruang muat dan didapatkan nilai 16,722. Dalam penelitian ini ditetapkan jumlah pembilasan sebanyak 18 kali agar pada perhitungan berikutnya didapatkan nilai yang lebih detail.

4.6 Reaksi Kimia Pengikatan CO₂ Oleh Soda Lime

Soda lime berfungsi sebagai pengikat CO₂ dari proses pendinginan kontainer pada ruang muat. *Soda lime* sendiri disusun oleh beberapa unsur, yaitu Kalsium Hidroksida (Ca(OH)₂), Sodium Hidroksida (NaOH), Air, Potassium Hidroksida (KOH).

Dari beberapa zat kimia penyusun *soda lime* kalsium Hidroksida merupakan zat kimia utama yang berfungsi untuk menyikat CO₂ dan melakukan proses kimia sehingga menghasilkan produk dari proses kimia tersebut. Berikut merupakan proses perhitungan proses kimia pengikatan karbondioksida oleh kalsium hidroksida pada *soda lime*.



Dengan mengurangi nilai entalpi ruas kanan dengan kiri maka didapatkan nilai panas hasil reaksi (ΔH_{reaksi}) setiap pengikatan 1 mol karbondioksida sebesar -112,33 kJ/mol. Sehingga proses kimia tersebut menghasilkan panas.

Dari persamaan proses kimia tersebut dapat kita lihat bahwa untuk mengikat 1 mol karbondioksida (44 gram) Dibutuhkan 1 mol kalsium hidroksida (74 gram) dan menghasilkan 1 mol kalsium karbonat (100 gram) dan 1 mol air (18 gram).

Bila dalam *soda lime* pada penelitian ini diasumsikan mengandung sekitar 85% (70-90%) kalsium hidroksida, maka untuk mengikat Karbon Dioksida dengan massa 700 kg maka dibutuhkan massa *soda lime* (m_{sl}) sebesar 1385,027 kg.

Bila proses pembilasan CO_2 terjadi sebanyak 18 kali maka disetiap proses pembilasan massa karbondioksida adalah sebesar 38,89 kg. Dan kalsium hidroksida yang dibutuhkan untuk setiap proses pembilasan sebesar 65,4 kg dengan jumlah molekul sebesar 883 mol.

4.7 Pendesainan Wadah *Soda Lime*

Ada beberapa hal yang harus di pertimbangkan dalam pendesainan wadah *soda lime*. Berikut merupakan proses pendesainan wadah *soda lime*.

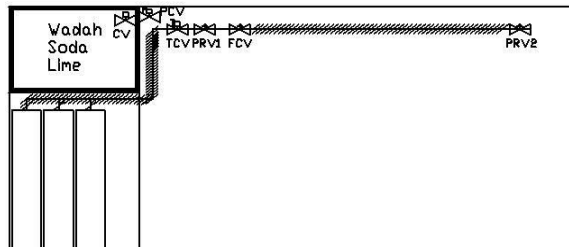
4.7.1 Kebutuhan Ukuran Wadah *Soda Lime*

Perhitungan ukuran wadah *soda lime* penting dilakukan untuk memperhitungkan ukuran wadah yang sesuai dengan kebutuhan *soda lime* sebagai pengikat karbondioksida. Bila massa jenis *soda lime* (ρ_{sl}) sebesar 900 kg/m^3 maka volume dari *soda lime* sebesar $1,539 \text{ m}^3$.

Bila *soda lime* memiliki bentuk seperti butiran, maka ada kemungkinan terdapat ruang kosong diantara butiran-butiran tersebut. Bila diasumsikan terdapat ruang kosong sekitar 10% dari volume butiran *soda lime*, maka ukuran volume minimal wadah *soda lime* (V_s) sebesar $1,693 \text{ m}^3$.

4.7.2 Penempatan Wadah *Soda Lime*

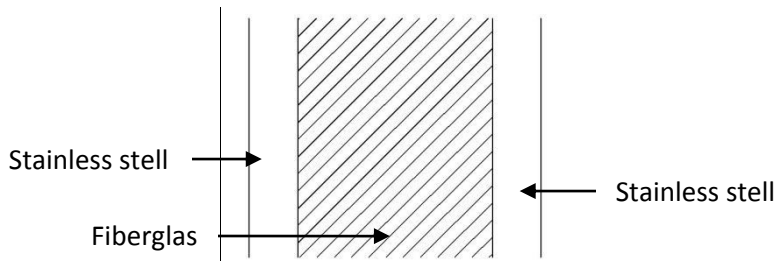
Setelah perhitungan volume minimal wadah *soda lime* didapatkan maka langkah berikutnya adalah menentukan peletakan wadah kontainer. Apabila wadah *soda lime* diletakkan diruang muat maka wadah *soda lime* dapat mengurangi volume ruang muat, sehingga jumlah muatan dapat berkurang. Karena itu wadah *soda lime* diletakkan di atas ruang tabung.

Gambar 4.10 Peletakan wadah *soda lime*

Dengan peletakan seperti pada gambar diatas maka wadah *soda lime* memiliki ukuran sebesar 1,25 m x 2,29 m x 0,8 m.

4.7.3 Penentuan Lapisan Dinding Wadah *Soda Lime*

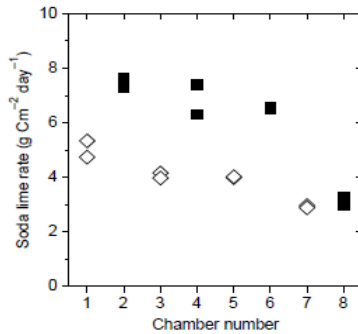
Pada penelitian ini lapisan wadah *soda lime* adalah 2 lapis stainless stell setebal 0,5 cm dan 1 lapisan fiberglass setebal 2 cm. Berikut merupakan detail lapisan wadah *soda lime*.

Gambar 4.11 Lapisan dinding wadah *soda lime*

4.7.4 Desain Bagian Dalam Wadah *Soda Lime*

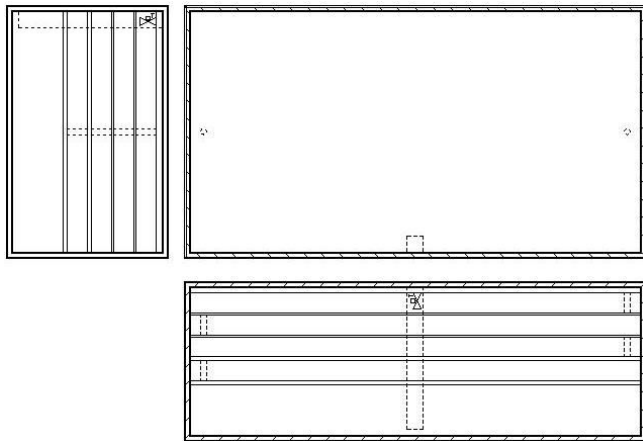
Dalam pendesainan wadah *soda lime* bagian dalam kita harus memperhitungkan kecepatan pengikatan karbondioksida yang diperlukan. Salah satu hal yang mempengaruhi kecepatan pengikatan karbondioksida oleh *soda lime* adalah luasan permukaan *soda lime*.

Bila Pengikatan CO_2 diperkirakan terjadi selama 9 jam untuk mengikat 700 kg karbondioksida, maka kecepatan pengikatan yang dibutuhkan adalah sebesar 21,6 g/s.



Gambar 4.12 Grafik kecepatan pengikatan (flux) karbondioksida oleh *soda lime*

Dari grafik tersebut ditentukan flux kecepatan pengikatan karbondioksida oleh *soda lime* (J) sebesar $4 \text{ g/cm}^2 \text{ day}$ atau $0,463 \text{ g/m}^2 \text{ s}$. sehingga luasan minimal dari wadah *soda lime* dapat dihitung dengan persamaan (3), dimana didapatkan nilai luas permukaan wadah sebesar $12,723 \text{ m}^2$. Sedangkan luasan permukaan atas wadah *soda lime* sebesar $2,654 \text{ m}^2$. Sehingga pada perencanaan desain dari wadah *soda lime* akan dibuat berlapis untuk memperbesar permukaan *soda lime*. Dalam penelitian ini jumlah lapisan wadah *soda lime* didesain sebanyak 5 lapis. Empat lapis *soda lime* memiliki luasan sebesar $2,646 \text{ m}^2$ dan satu lapisan yang memiliki luasan $2,647 \text{ m}^2$. Sehingga luas total permukaan *soda lime* sebesar $13,23 \text{ m}^2$. Dengan volume wadah tempat *soda lime* $1,72 \text{ m}^3$. Berikut merupakan detail desain wadah *soda lime*.

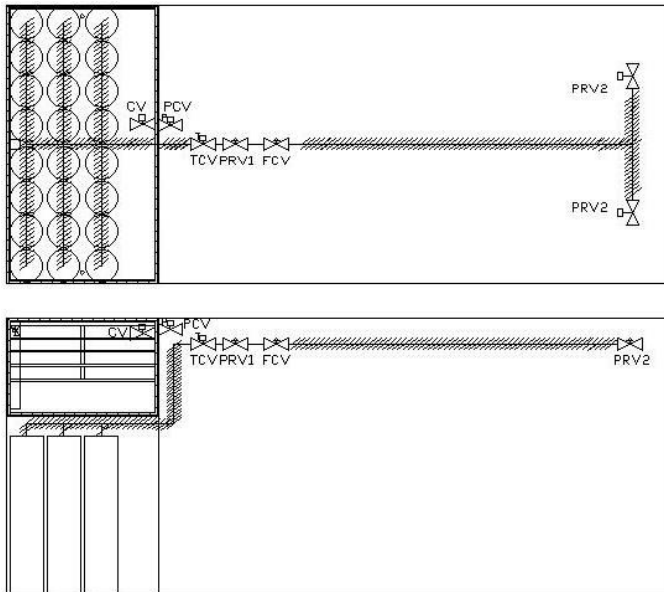
Gambar 4.13 Detail wadah *soda lime*

Berikut merupakan data detail dari kebutuhan ukuran wadah *soda lime* dan detail desain wadah *soda lime*.

Tabel 4.4 Detail wadah *soda lime*

Faktor Dalam Pendesainan	Kebutuhan	Desain Akhir
Lapisan wadah <i>soda lime</i>		
- Stainless steel		0,5 cm
- Fiberglass		2 cm
- Stainless steel		0,5 cm
Luas permukaan <i>soda lime</i>	12,723 m ²	13,23 m ²
Volume wadah <i>soda lime</i>	1,693 m ³	1,72 m ³

Maka desain sistem dari *reefer container* dengan menggunakan *soda lime* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.9 Sistem *reefer container* dengan menggunakan *soda lime*

4.8 Proses Pengikatan CO_2 Pada Setiap Proses Pembilasan

Proses pengikatan karbondioksida oleh *soda lime* melalui proses reaksi kimia akan menghasilkan panas (eksotermis). Hal ini akan menyebabkan suhu *soda lime* dan zat kimia hasil pengikatan karbondioksida akan naik. Sehingga suhu wadah *soda lime* akan bertambah. Berikut merupakan proses kimia dari proses pengikatan karbondioksida dengan berdasar pada hukum kekekalan energi dimana diasumsikan terjadi secara adiabatik dan berlangsung sebanyak 18 tahap sesuai jumlah proses sirkulasi udara yang diperkirakan. Maka untuk memperhitungkan perubahan suhu wadah *soda lime* digunakan persamaan (8) dimana nilai panas yang dihasilkan dalam satu kali proses pembilasan sebesar -99187,39 kJ yang merupakan hasil perkalian dari panas yang dihasilkan dalam setiap pengikatan 1 mol karbondioksida dan jumlah molekul yang bereaksi dalam 1 kali proses pembilasan.

Berikut merupakan massa kandungan zat kimia di dalam *soda lime*.

Tabel 4.5 Kandungan zat Kimia di dalam *soda lime*

Zat Kimia	Ca(OH) ₂	NaOH	H ₂ O	KOH
Presentase	85%	3%	11%	1%
Massa Zat Kimia (kg)	1177,335	41,553	152,361	179379,9

Nilai ini merupakan kandungan zat kimia di dalam 1385 kg *soda lime* yang dibutuhkan dalam pengikatan karbondioksida dan dibagi sesuai besar presentase kandungan setiap zat kimia.

Dengan menggunakan persamaan (8), pada proses sirkulasi 1 didapatkan suhu wadah *soda lime* sebesar 78,239°C dan pada sirkulasi 2 didapatkan suhu wadah *soda lime* sebesar 125,325°C.

Mulai pada reaksi ke 3 hingga reaksi ke 18 kandungan air pada wadah *soda lime* akan mulai menguap akibat panas yang dihasilkan oleh reaksi kimia. Hal ini terjadi karena tekanan di wadah *soda lime* yang diasumsikan sebesar 2,9 bar akan menguap pada suhu 132°C. Dalam perencanaannya suhu wadah *soda lime* dijaga agar tetap bersuhu 100°C. Sehingga disetiap sirkulasi pada perhitungan berikutnya akan diasumsikan temperatur awal proses sebesar 100 °C. Mulai dari proses sirkulasi 3 hingga ke 18 akan terjadi proses penguapan kandungan air di dalam wadah *soda lime*. Maka untuk proses perhitungan proses sirkulasi 3-18 akan digunakan persamaan (7).

Berikut merupakan ringkasan hasil perhitungan kondisi kandungan air dan zat kimia didalam *soda lime* pada setiap proses sirkulasi atau pembilasan dimana besar kandungan NaOH dan KOH₂ tetap.

Tabel 4.6 Kondisi zat kimia di dalam wadah *soda lime* di setiap proses pembilasan

No	Ca(OH) ₂ (kg)	H ₂ O (kg)	CaCO ₃ (kg)	Uap H ₂ O (kg)
0	1177,335	152,361	0	0
1	1111,935	168,271	88,38	0
2	1046,535	183,611	176,76	0
3	981,135	198,951	265,14	13,88
4	915,735	200,981	353,52	28,85
5	850,335	201,921	441,9	42,87
6	784,935	203,811	530,28	56,94
7	719,535	205,651	618,66	71,05
8	654,135	207,451	707,04	85,22
9	588,735	209,191	795,42	99,44
10	523,335	210,881	883,8	113,72
11	457,935	212,511	972,18	128,06
12	392,535	214,081	1060,56	142,47
13	327,135	215,581	1148,94	156,95
14	261,735	217,011	1237,32	171,5
15	196,335	218,371	1325,7	186,13
16	130,935	219,651	1414,08	200,85
17	65,535	220,841	1502,46	215,66
18	0,135	221,941	1590,84	230,56

Dari proses pengikatan karbondioksida oleh *soda lime* didapatkan suhu wadah *soda lime* didapatkan suhu akhir sebesar 132°C dengan massa akhir kalsium hidroksida sebesar 0,135 kg, air sebesar 222 kg dan kalsium karbonat sebesar 1,59 ton. Sedangkan sebesar 230,56 kg air menguap. Menjaga kandungan air di dalam *soda lime* amatlah penting, hal ini disebabkan karena

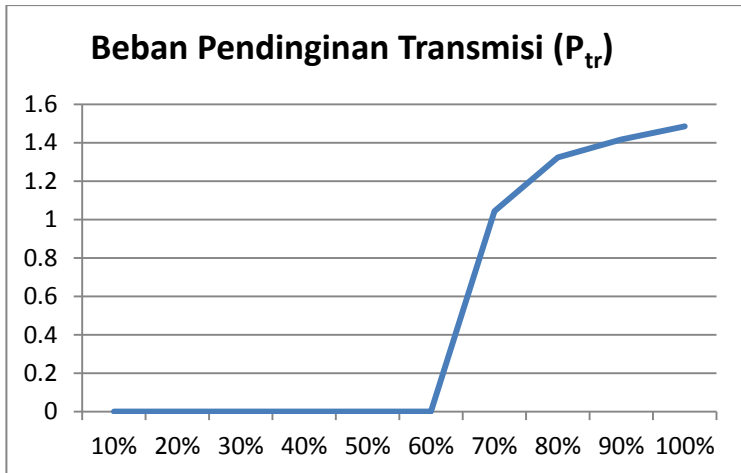
awal proses pengikatan karbondioksida oleh kalsium hidroksida membutuhkan air sebagai media terlarutnya karbondioksida.

4.9 Kebutuhan dan Desain Wadah *Soda Lime* Pada Fariasi Presentase Pengikatan Beserta Beban Pendinginan yang Dihasilkan

Dengan tingkat pengikatan karbondioksida yang berbeda, maka jumlah kebutuhan *soda lime* dan ukuran wadah *soda lime* yang dibutuhkan juga akan berbeda. Akibat ukuran wadah *soda lime* yang berbeda maka beban pendinginan transmisi yang dihasilkan di dalam *soda lime* akan berbeda akibat luasan yang bersinggungan langsung dengan ruang penyimpanan akan berbeda di setiap tingkat pengikatan. Dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti pada perhitungan pengikatan keseluruhan gas karbondioksida sebesar 700 kg, maka kita dapat memperhitungkan ukuran wadah *soda lime* dan beban transmisi pada setiap presentase pengikatan karbondioksida. Hasil dari perhitungan dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut.

Tabel 4.7 Beban pendinginan dan ukuran wadah *soda lime* pada setiap presentase pengikatan CO₂

Presentase	Ukuran wadah	Qtr
10%	0,66 m x 2,29 m x 0,26 m	0 Kw
20%	0,66 m x 2,29 m x 0,41 m	0 Kw
30%	0,66 m x 2,29 m x 0,56 m	0 Kw
40%	0,81 m x 2,29 m x 0,71 m	0 Kw
50%	0,81 m x 2,29 m x 0,71 m	0 Kw
60%	0,92 m x 2,29 m x 0,71 m	0 Kw
70%	1,25 m x 2,29 m x 0,56 m	1,044 Kw
80%	1,25 m x 2,29 m x 0,71 m	1,324 Kw
90%	1,25 m x 2,29 m x 0,76 m	1,417 Kw
100%	1,25 m x 2,29 m x 0,765 m	1,485 Kw



Dari grafik diatas bisa kita lihat bahwa besar beban pendinginan transmisi tergantung pada ukuran wadah *soda lime*. Bila wadah *soda lime* memiliki panjang 1,25 m atau sepanjang ruang tabung karbondioksida, maka dinding wadah *soda lime* akan bersentuhan langsung dengan ruang muat, sehingga akan muncul beban panas akibat perbedaan suhu wadah *soda lime* dan ruang penyimpanan.

Besar beban pendinginan transmisi dipengaruhi oleh luasan permukaan wadah *soda lime*. Dengan lebar wadah tetap 2,29 m, maka semakin besar tinggi wadah *soda lime* maka semakin besar luasan dinding wadah *soda lime* yang bersentuhan langsung dengan ruang penyimpanan, sehingga beban pendinginan transmisinya juga semakin besar.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN

Detail Perhitungan Nilai Input Pada Software Analisa ANSYS

→ Ukuran kontainer bagian dalam

Panjang 4,229 m

Lebar 2,286 m

Tinggi 2,257 m

→ Ukuran kontainer bagian luar

Panjang 4,305 m

Lebar 2,438 m

Tinggi 2,590 m

→ Tekanan pada dinding kontainer

Tekanan udara luar kontainer (P_l) = 101325 Psi

Tekanan udara dalam kontainer (P_d) = 290000 Psi

→ Gaya yang dialami pada setiap sisi kontainer

- Sisi kanan dan kiri

$$\begin{aligned} F_t &= F_d - F_l \\ &= (p_d \cdot t_d \cdot P_d) - (p_l \cdot t_l \cdot P_l) \\ &= 1638064 \text{ N} \end{aligned}$$

- Sisi depan dan belakang

$$\begin{aligned} F_t &= F_d - F_l \\ &= (l_d \cdot t_d \cdot P_d) - (l_l \cdot t_l \cdot P_l) \\ &= 856243 \text{ N} \end{aligned}$$

- Sisi atas

$$\begin{aligned} F_t &= F_d - F_l \\ &= (l_d \cdot p_d \cdot P_d) - (l_l \cdot p_l \cdot P_l) \\ &= 1739933 \text{ N} \end{aligned}$$

- Sisi bawah

$$\begin{aligned} m_{\text{pisang}} &= 14500 \text{ kg} \\ g &= 10 \text{ m/s} \\ F_t &= F_d - F_l \\ &= (l_d \cdot p_d \cdot P_d) - (l_l \cdot p_l \cdot P_l) \\ &\quad + m_{\text{pisang}} g \\ &= 1884933 \text{ N} \end{aligned}$$

→ Kekuatan maksimal kontainer

$$343 \text{ N/mm}^2 = 3,36 \text{ Pa}$$

→ Tebal plat kontainer = 0,75 cm

Detail Perhitungan Keadaan Zat Kimia di Dalam Wadah Soda lime Pada Setiap Proses Sirkulasi Karbondioksida

- Proses Sirkulasi 1

$$\begin{aligned}
 Q_{acc} &= Q_{In} - Q_{out} + Q_{gen} \\
 0 &= \sum m_{in} \cdot c \cdot \Delta T - \sum m_{out} \cdot c \cdot \Delta T + (-H_t) \\
 0 &= (m_{CO_2} \cdot c_{CO_2} \cdot \Delta T) + (n_{Ca(OH)_2} \cdot c_n Ca(OH)_2 \cdot \Delta T) - (((m_{Ca(OH)_2} / \rho_n \\
 &\quad Ca(OH)_2 \cdot c_n Ca(OH)_2 \cdot \Delta T) + (m_{NaOH} \cdot c_{NaOH} \cdot \Delta T) + (m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \\
 &\quad \Delta T) + (m_{KOH_2} / \rho_n KOH_2 \cdot c_n KOH_2 \cdot \Delta T) + (m_{CaCO_3} \cdot c_{CaCO_3} \cdot \Delta T)) \\
 &\quad + (-H_t) \\
 0 &= (38,89 \cdot 0,838 \cdot (T_2-30)) + (883 \cdot 0,0875 \cdot (T_2-30)) - \\
 &\quad (((1111935/74) \cdot 0,0875 \cdot (T_2-30)) + (41,553 \cdot 1,49 \cdot (T_2-30) \\
 &\quad + (168,271 \cdot 4,2 \cdot (T_2-30) + ((13851/56) \cdot 0,0659 \cdot (T_2-30)) \\
 &\quad + (88,38 \cdot 0,75 \cdot (T_2-30)) + 112,33 \\
 0 &= 32,59(132-30) + 77,263 (132-30) - 1314,788 (132-30) - \\
 &\quad 61,914 (132-30) - 706,74 (132-30) - 16,29 (132-30) - \\
 &\quad 66,285 (132-30) + 99187,39 \\
 99187,39 &= 2056,164 \cdot (T_2-30) \\
 (T_2-30) &= 48,239 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 T_2 &= 78,239 \text{ } ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

- Proses Sirkulasi 2

$$\begin{aligned}
 Q_{acc} &= Q_{In} - Q_{out} + Q_{gen} \\
 0 &= \sum m_{in} \cdot c \cdot \Delta T - \sum m_{out} \cdot c \cdot \Delta T + (-H_t) \\
 0 &= (m_{CO_2} \cdot c_{CO_2} \cdot \Delta T) + (n_{Ca(OH)_2} \cdot c_n Ca(OH)_2 \cdot \Delta T) - (((m_{Ca(OH)_2} / \rho_n \\
 &\quad Ca(OH)_2 \cdot c_n Ca(OH)_2 \cdot \Delta T) + (m_{NaOH} \cdot c_{NaOH} \cdot \Delta T) + (m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \\
 &\quad \Delta T) + (m_{KOH_2} / \rho_n KOH_2 \cdot c_n KOH_2 \cdot \Delta T) + (m_{CaCO_3} \cdot c_{CaCO_3} \cdot \Delta T)) \\
 &\quad + (-H_t) \\
 0 &= (38,89 \cdot 0,838 \cdot (T_2-78,24)) + (883 \cdot 0,0875 \cdot (T_2-78,24)) - \\
 &\quad (((1046535/74) \cdot 0,0875 \cdot (T_2-78,24)) + (41,553 \cdot 1,49 \cdot (T_2- \\
 &\quad 78,24) + (183,611 \cdot 4,2 \cdot (T_2-78,24) + ((13851/56) \cdot 0,0659 \\
 &\quad \cdot (T_2-78,24)) + (176,76 \cdot 0,75 \cdot (T_2-78,24)) + 112,33
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
0 &= 32,59(132-78,24) + 77,263 (132-78,24) - 1234,4569 (132-78,24) - 61,914 (132-78,24) - 771,1662 (132-78,24) - 16,29 (132-78,24) - 132,57 (132-78,24) + 99187,39 \\
99187,39 &= 2106,5441 \cdot (T_2-78,24) \\
(T_2-78,24) &= 47,085 \text{ } ^\circ\text{C} \\
T_2 &= 125,325 \text{ } ^\circ\text{C}
\end{aligned}$$

- Proses Sirkulasi 3

$$\begin{aligned}
Q_{acc} &= Q_{in} - Q_{out} + Q_{gen} \\
0 &= \sum m_{in} \cdot c \cdot \Delta T - \sum m_{out} \cdot c \cdot \Delta T + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L \\
0 &= (m_{CO_2} \cdot c_{CO_2} \cdot \Delta T) + (n_{Ca(OH)_2} \cdot c_n \text{ Ca(OH)}_2 \cdot \Delta T) - (((m_{Ca(OH)_2} / \rho_n \text{ Ca(OH)}_2 \cdot c_n \text{ Ca(OH)}_2 \cdot \Delta T) + (m_{NaOH} \cdot c_{NaOH} \cdot \Delta T) + (m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T) + (m_{KOH_2} / \rho_n \text{ KOH}_2 \cdot c_n \text{ KOH}_2 \cdot \Delta T) + (m_{CaCO_3} \cdot c_{CaCO_3} \cdot \Delta T)) + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L \\
0 &= (38,89 \cdot 0,838 \cdot (132-100)) + (883 \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) - (((981135/74) \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) + (41,553 \cdot 1,49 \cdot (132-100) + (198,951 \cdot 4,2 \cdot (132-100) + ((13851/56) \cdot 0,0659 \cdot (132-100)) + (265,14 \cdot 0,75 \cdot (132-100)) + 99187,39 - M_{H_2O} \cdot 2160 \\
0 &= 32,59(132-100) + 77,263 (132-100) - 1160,1258 (132-100) - 61,914 (132-100) - 835,5942 (132-100) - 16,29 (132-100) - 198,855 (132-100) + 99187,39 - M_{H_2O} \cdot 2160 \\
99187,39 &= 2162,926 \cdot (132-100) + M_{H_2O} \cdot 2160 \\
2160 M_{H_2O} &= 29973,75 \\
M_{H_2O} &= 13,877 \text{ kg}
\end{aligned}$$

- Proses Sirkulasi 4

$$\begin{aligned}
Q_{acc} &= Q_{in} - Q_{out} + Q_{gen} \\
0 &= \sum m_{in} \cdot c \cdot \Delta T - \sum m_{out} \cdot c \cdot \Delta T + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L \\
0 &= (m_{CO_2} \cdot c_{CO_2} \cdot \Delta T) + (n_{Ca(OH)_2} \cdot c_n \text{ Ca(OH)}_2 \cdot \Delta T) - (((m_{Ca(OH)_2} / \rho_n \text{ Ca(OH)}_2 \cdot c_n \text{ Ca(OH)}_2 \cdot \Delta T) + (m_{NaOH} \cdot c_{NaOH} \cdot \Delta T) + (m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T) + (m_{KOH_2} / \rho_n \text{ KOH}_2 \cdot c_n \text{ KOH}_2 \cdot \Delta T) + (m_{CaCO_3} \cdot c_{CaCO_3} \cdot \Delta T)) + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
0 &= (38,89 \cdot 0,838 \cdot (132-100)) + (883 \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) - \\
&\quad (((915735/74) \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) + (41,553 \cdot 1,49 \cdot (132-100) \\
&\quad + (200,98 \cdot 4,2 \cdot (132-100) + ((13851/56) \cdot 0,0659 \cdot (132-100)) \\
&\quad + (353,52 \cdot 0,75 \cdot (132-100)) + 99187,39 - M_{H_2O} \cdot 2160 \\
0 &= 32,59(132-100) + 77,263 (132-100) - 1082,7948 (132-100) \\
&\quad - 61,914 (132-100) - 777,3 (132-100) - 16,29 (132-100) - \\
&\quad 265,14 (132-100) + 99187,39 - M_{H_2O} \cdot 2160 \\
99187,39 &= 2089,29 \cdot (132-100) + M_{H_2O} \cdot 2160 \\
2160 M_{H_2O} &= 32330,11 \\
M_{H_2O} &= 14,968 \text{ kg}
\end{aligned}$$

- Proses Sirkulasi 5

$$\begin{aligned}
Q_{acc} &= Q_{In} - Q_{out} + Q_{gen} \\
0 &= \Sigma m_{in} \cdot c \cdot \Delta T - \Sigma m_{out} \cdot c \cdot \Delta T + (-H_t) - m_{H_2O} \cdot L \\
0 &= (m_{CO_2} \cdot c_{CO_2} \cdot \Delta T) + (n_{Ca(OH)_2} \cdot c_{Ca(OH)_2} \cdot \Delta T) - (((m_{Ca(OH)_2} / \rho_{n_{Ca(OH)_2}} \cdot c_{n_{Ca(OH)_2}} \cdot \Delta T) + (m_{NaOH} \cdot c_{NaOH} \cdot \Delta T) + (m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T) \\
&\quad + (m_{KOH_2} / \rho_{n_{KOH_2}} \cdot c_{n_{KOH_2}} \cdot \Delta T) + (m_{CaCO_3} \cdot c_{CaCO_3} \cdot \Delta T)) + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L \\
0 &= (38,89 \cdot 0,838 \cdot (132-100)) + (883 \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) - \\
&\quad (((850335/74) \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) + (41,553 \cdot 1,49 \cdot (132-100) \\
&\quad + (201,92 \cdot 4,2 \cdot (132-100) + ((13851/56) \cdot 0,0659 \cdot (132-100)) \\
&\quad + (441,9 \cdot 0,75 \cdot (132-100)) + 99187,39 - M_{H_2O} \cdot 2160 \\
0 &= 32,59(132-100) + 77,263 (132-100) - 1005,46 (132-100) - \\
&\quad 61,914 (132-100) - 848,064 (132-100) - 16,29 (132-100) - \\
&\quad 331,425 (132-100) + 99187,39 - M_{H_2O} \cdot 2160 \\
99187,39 &= 2153,3 \cdot (132-100) + M_{H_2O} \cdot 2160 \\
2160 M_{H_2O} &= 30281,79 \\
M_{H_2O} &= 14,0193 \text{ kg}
\end{aligned}$$

- Proses Sirkulasi 6

$$\begin{aligned}
Q_{acc} &= Q_{In} - Q_{out} + Q_{gen} \\
0 &= \Sigma m_{in} \cdot c \cdot \Delta T - \Sigma m_{out} \cdot c \cdot \Delta T + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
0 &= (m_{\text{CO}_2} \cdot c_{\text{CO}_2} \cdot \Delta T) + (n_{\text{Ca(OH)}_2} \cdot c_n \text{Ca(OH)}_2 \cdot \Delta T) - (((m_{\text{Ca(OH)}_2} / \rho_n \\
&\quad \text{Ca(OH)}_2 \cdot c_n \text{Ca(OH)}_2 \cdot \Delta T) + (m_{\text{NaOH}} \cdot c_{\text{NaOH}} \cdot \Delta T) + (m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \\
&\quad \Delta T) + (m_{\text{KOH}_2} / \rho_n \text{KOH}_2 \cdot c_n \text{KOH}_2 \cdot \Delta T) + (m_{\text{CaCO}_3} \cdot c_{\text{CaCO}_3} \cdot \Delta T)) \\
&\quad + (-H_t) - M_{\text{H}_2\text{O}} L \\
0 &= (38,89 \cdot 0,838 \cdot (132-100)) + (883 \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) - \\
&\quad (((784935/74) \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) + (41,553 \cdot 1,49 \cdot (132- \\
&\quad 100) + (203,81 \cdot 4,2 \cdot (132-100) + ((13851/56) \cdot 0,0659 \cdot \\
&\quad (132-100)) + (530,28 \cdot 0,75 \cdot (132-100)) + 99187,39 - \\
&\quad M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot 2160 \\
0 &= 32,59(132-100) + 77,263 (132-100) - 928,133 (132-100) - \\
&\quad 61,914 (132-100) - 856 (132-100) - 16,29 (132-100) - \\
&\quad 397,71 (132-100) + 99187,39 - M_{\text{H}_2\text{O}} 2160 \\
99187,39 &= 2150,194 \cdot (132-100) + M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot 2160 \\
2160 M_{\text{H}_2\text{O}} &= 30381,182 \\
M_{\text{H}_2\text{O}} &= 14,065 \text{ kg}
\end{aligned}$$

- Proses Sirkulasi 7

$$\begin{aligned}
Q_{\text{acc}} &= Q_{\text{In}} - Q_{\text{out}} + Q_{\text{gen}} \\
0 &= \Sigma m_{\text{in}} \cdot c \cdot \Delta T - \Sigma m_{\text{out}} \cdot c \cdot \Delta T + (-H_t) - M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot L \\
0 &= (m_{\text{CO}_2} \cdot c_{\text{CO}_2} \cdot \Delta T) + (n_{\text{Ca(OH)}_2} \cdot c_n \text{Ca(OH)}_2 \cdot \Delta T) - (((m_{\text{Ca(OH)}_2} / \rho_n \\
&\quad \text{Ca(OH)}_2 \cdot c_n \text{Ca(OH)}_2 \cdot \Delta T) + (m_{\text{NaOH}} \cdot c_{\text{NaOH}} \cdot \Delta T) + (m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \\
&\quad \Delta T) + (m_{\text{KOH}_2} / \rho_n \text{KOH}_2 \cdot c_n \text{KOH}_2 \cdot \Delta T) + (m_{\text{CaCO}_3} \cdot c_{\text{CaCO}_3} \cdot \Delta T)) \\
&\quad + (-H_t) - M_{\text{H}_2\text{O}} L \\
0 &= (38,89 \cdot 0,838 \cdot (132-100)) + (883 \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) - \\
&\quad (((719535/74) \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) + (41,553 \cdot 1,49 \cdot (132- \\
&\quad 100) + (205,65 \cdot 4,2 \cdot (132-100) + ((13851/56) \cdot 0,0659 \cdot \\
&\quad (132-100)) + (618,66 \cdot 0,75 \cdot (132-100)) + 99187,39 - \\
&\quad M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot 2160 \\
0 &= 32,59(132-100) + 77,263 (132-100) - 850,8 (132-100) - \\
&\quad 61,914 (132-100) - 863,73 (132-100) - 16,29 (132-100) - \\
&\quad 463,995 (132-100) + 99187,39 - M_{\text{H}_2\text{O}} 2160 \\
99187,39 &= 2146,876 \cdot (132-100) + M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot 2160 \\
2160 M_{\text{H}_2\text{O}} &= 30487,358 \\
M_{\text{H}_2\text{O}} &= 14,115 \text{ kg}
\end{aligned}$$

- Proses Sirkulasi 8

$$Q_{acc} = Q_{In} - Q_{out} + Q_{gen}$$

$$0 = \sum m_{in} \cdot c \cdot \Delta T - \sum m_{out} \cdot c \cdot \Delta T + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L$$

$$0 = (m_{CO_2} \cdot c_{CO_2} \cdot \Delta T) + (n_{Ca(OH)_2} \cdot c_n Ca(OH)_2 \cdot \Delta T) - (((m_{Ca(OH)_2} / \rho_n Ca(OH)_2} \cdot c_n Ca(OH)_2 \cdot \Delta T) + (m_{NaOH} \cdot c_{NaOH} \cdot \Delta T) + (m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T) + (m_{KOH_2} / \rho_n KOH_2} \cdot c_n KOH_2 \cdot \Delta T) + (m_{CaCO_3} \cdot c_{CaCO_3} \cdot \Delta T)) + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L$$

$$0 = (38,89 \cdot 0,838 \cdot (132-100)) + (883 \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) - (((654135/74) \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) + (41,553 \cdot 1,49 \cdot (132-100) + (207,45 \cdot 4,2 \cdot (132-100) + ((13851/56) \cdot 0,0659 \cdot (132-100)) + (707,04 \cdot 0,75 \cdot (132-100)) + 99187,39 - M_{H_2O} \cdot 2160$$

$$0 = 32,59(132-100) + 77,263 (132-100) - 773,47 (132-100) - 61,914 (132-100) - 871,29 (132-100) - 16,29 (132-100) - 530,28 (132-100) + 99187,39 - M_{H_2O} \cdot 2160$$

$$99187,39 = 2143,4 \cdot (132-100) + M_{H_2O} \cdot 2160$$

$$2160 M_{H_2O} = 30598,864$$

$$M_{H_2O} = 14,166 \text{ kg}$$

- Proses Sirkulasi 9

$$Q_{acc} = Q_{In} - Q_{out} + Q_{gen}$$

$$0 = \sum m_{in} \cdot c \cdot \Delta T - \sum m_{out} \cdot c \cdot \Delta T + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L$$

$$0 = (m_{CO_2} \cdot c_{CO_2} \cdot \Delta T) + (n_{Ca(OH)_2} \cdot c_n Ca(OH)_2 \cdot \Delta T) - (((m_{Ca(OH)_2} / \rho_n Ca(OH)_2} \cdot c_n Ca(OH)_2 \cdot \Delta T) + (m_{NaOH} \cdot c_{NaOH} \cdot \Delta T) + (m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T) + (m_{KOH_2} / \rho_n KOH_2} \cdot c_n KOH_2 \cdot \Delta T) + (m_{CaCO_3} \cdot c_{CaCO_3} \cdot \Delta T)) + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L$$

$$0 = (38,89 \cdot 0,838 \cdot (132-100)) + (883 \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) - (((588735/74) \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) + (41,553 \cdot 1,49 \cdot (132-100) + (209,2 \cdot 4,2 \cdot (132-100) + ((13851/56) \cdot 0,0659 \cdot (132-100)) + (795,42 \cdot 0,75 \cdot (132-100)) + 99187,39 - M_{H_2O} \cdot 2160$$

$$0 = 32,59(132-100) + 77,263 (132-100) - 696,14 (132-100) - 61,914 (132-100) - 878,64 (132-100) - 16,29 (132-100) - 596,565 (132-100) + 99187,39 - M_{H_2O} \cdot 2160$$

$$\begin{aligned}
99187,39 &= 2139,7 \cdot (132-100) + M_{H_2O} \cdot 2160 \\
2160 M_{H_2O} &= 30717,12 \\
M_{H_2O} &= 14,221 \text{ kg}
\end{aligned}$$

- Proses Sirkulasi 10

$$\begin{aligned}
Q_{acc} &= Q_{In} - Q_{out} + Q_{gen} \\
0 &= \sum m_{in} \cdot c \cdot \Delta T - \sum m_{out} \cdot c \cdot \Delta T + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L \\
0 &= (m_{CO_2} \cdot c_{CO_2} \cdot \Delta T) + (n_{Ca(OH)_2} \cdot c_n \cdot Ca(OH)_2 \cdot \Delta T) - (((m_{Ca(OH)_2} / \rho_n \\
&\quad Ca(OH)_2 \cdot c_n \cdot Ca(OH)_2 \cdot \Delta T) + (m_{NaOH} \cdot c_{NaOH} \cdot \Delta T) + (m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \\
&\quad \Delta T) + (m_{KOH_2} / \rho_n \cdot c_n \cdot KOH_2 \cdot \Delta T) + (m_{CaCO_3} \cdot c_{CaCO_3} \cdot \Delta T)) \\
&\quad + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L \\
0 &= (38,89 \cdot 0,838 \cdot (132-100)) + (883 \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) - \\
&\quad (((523335/74) \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) + (41,553 \cdot 1,49 \cdot (132- \\
&\quad 100) + (210,88 \cdot 4,2 \cdot (132-100) + ((13851/56) \cdot 0,0659 \cdot \\
&\quad (132-100)) + (883,88 \cdot 0,75 \cdot (132-100)) + 99187,39 - \\
&\quad M_{H_2O} \cdot 2160 \\
0 &= 32,59(132-100) + 77,263 (132-100) - 618,81 (132-100) - \\
&\quad 61,914 (132-100) - 885,69 (132-100) - 16,29 (132-100) - \\
&\quad 662,91 (132-100) + 99187,39 - M_{H_2O} \cdot 2160 \\
99187,39 &= 2135,76 \cdot (132-100) - M_{H_2O} \cdot 2160 \\
2160 M_{H_2O} &= 30843,04 \\
M_{H_2O} &= 14,279 \text{ kg}
\end{aligned}$$

- Proses Sirkulasi 11

$$\begin{aligned}
Q_{acc} &= Q_{In} - Q_{out} + Q_{gen} \\
0 &= \sum m_{in} \cdot c \cdot \Delta T - \sum m_{out} \cdot c \cdot \Delta T + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L \\
0 &= (m_{CO_2} \cdot c_{CO_2} \cdot \Delta T) + (n_{Ca(OH)_2} \cdot c_n \cdot Ca(OH)_2 \cdot \Delta T) - (((m_{Ca(OH)_2} / \rho_n \\
&\quad Ca(OH)_2 \cdot c_n \cdot Ca(OH)_2 \cdot \Delta T) + (m_{NaOH} \cdot c_{NaOH} \cdot \Delta T) + (m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \\
&\quad \Delta T) + (m_{KOH_2} / \rho_n \cdot c_n \cdot KOH_2 \cdot \Delta T) + (m_{CaCO_3} \cdot c_{CaCO_3} \cdot \Delta T)) \\
&\quad + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L \\
0 &= (38,89 \cdot 0,838 \cdot (132-100)) + (883 \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) - \\
&\quad (((457935/74) \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) + (41,553 \cdot 1,49 \cdot (132- \\
&\quad 100) + (212,51 \cdot 4,2 \cdot (132-100) + ((13851/56) \cdot 0,0659 \cdot
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (132-100)) + (972,18 \cdot 0,75 \cdot (132-100)) + 99187,39 - \\
& M_{H_2O} \cdot 2160 \\
0 &= 32,59(132-100) + 77,263 (132-100) - 541,48 (132-100) - \\
& 61,914 (132-100) - 892,542 (132-100) - 16,29 (132-100) - \\
& 729,135 (132-100) + 99187,39 - M_{H_2O} \cdot 2160 \\
99187,39 &= 2131,51 \cdot (132-100) + M_{H_2O} \cdot 2160 \\
2160 M_{H_2O} &= 30979,134 \\
M_{H_2O} &= 14,34219167 \text{ kg}
\end{aligned}$$

- Proses Sirkulasi 12

$$\begin{aligned}
Q_{acc} &= Q_{In} - Q_{out} + Q_{gen} \\
0 &= \sum m_{in} \cdot c \cdot \Delta T - \sum m_{out} \cdot c \cdot \Delta T + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L \\
0 &= (m_{CO_2} \cdot c_{CO_2} \cdot \Delta T) + (n_{Ca(OH)_2} \cdot c_{n \text{ Ca(OH)}_2} \cdot \Delta T) - (((m_{Ca(OH)_2} / \rho_{n \text{ Ca(OH)}_2} \cdot c_{n \text{ Ca(OH)}_2} \cdot \Delta T) + (m_{NaOH} \cdot c_{NaOH} \cdot \Delta T) + (m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T) + (m_{KOH_2} / \rho_{n \text{ KOH}_2} \cdot c_{n \text{ KOH}_2} \cdot \Delta T) + (m_{CaCO_3} \cdot c_{CaCO_3} \cdot \Delta T)) + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L \\
0 &= (38,89 \cdot 0,838 \cdot (132-100)) + (883 \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) - \\
& (((392535/74) \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) + (41,553 \cdot 1,49 \cdot (132-100) + (214,081 \cdot 4,2 \cdot (132-100) + ((13851/56) \cdot 0,0659 \cdot (132-100)) + (1060,56 \cdot 0,75 \cdot (132-100)) + 99187,39 - M_{H_2O} \cdot 2160 \\
0 &= 32,59(132-100) + 77,263 (132-100) - 464,146 (132-100) - \\
& 61,914 (132-100) - 899,14 (132-100) - 16,29 (132-100) - \\
& 795,42 (132-100) + 99187,39 - M_{H_2O} \cdot 2160 \\
99187,39 &= 2127,057 \cdot (132-100) + M_{H_2O} \cdot 2160 \\
2160 M_{H_2O} &= 31121,566 \\
M_{H_2O} &= 14,408 \text{ kg}
\end{aligned}$$

- Proses Sirkulasi 13

$$\begin{aligned}
Q_{acc} &= Q_{In} - Q_{out} + Q_{gen} \\
0 &= \sum m_{in} \cdot c \cdot \Delta T - \sum m_{out} \cdot c \cdot \Delta T + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L \\
0 &= (m_{CO_2} \cdot c_{CO_2} \cdot \Delta T) + (n_{Ca(OH)_2} \cdot c_{n \text{ Ca(OH)}_2} \cdot \Delta T) - (((m_{Ca(OH)_2} / \rho_{n \text{ Ca(OH)}_2} \cdot c_{n \text{ Ca(OH)}_2} \cdot \Delta T) + (m_{NaOH} \cdot c_{NaOH} \cdot \Delta T) + (m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T) + (m_{KOH_2} / \rho_{n \text{ KOH}_2} \cdot c_{n \text{ KOH}_2} \cdot \Delta T) + (m_{CaCO_3} \cdot c_{CaCO_3} \cdot \Delta T)) + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \Delta T) + (m_{\text{KOH}_2} / \rho_{\text{n KOH}_2} \cdot c_{\text{n KOH}_2} \cdot \Delta T) + (m_{\text{CaCO}_3} \cdot c_{\text{CaCO}_3} \cdot \Delta T)) \\
& + (-H_i) - M_{\text{H}_2\text{O}} L \\
0 = & (38,89 \cdot 0,838 \cdot (132-100)) + (883 \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) - \\
& (((327135/74) \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) + (41,553 \cdot 1,49 \cdot (132- \\
& 100) + (215,58 \cdot 4,2 \cdot (132-100) + ((13851/56) \cdot 0,0659 \cdot \\
& (132-100)) + (1148,94 \cdot 0,75 \cdot (132-100)) + 99187,39 + \\
& M_{\text{H}_2\text{O}} 2160 \\
0 = & 32,59(132-100) + 77,263 (132-100) - 386,815(132-100) - \\
& 61,914 (132-100) - 905,436 (132-100) - 16,29 (132-100) - \\
& 861,71 (132-100) + 99187,39 - M_{\text{H}_2\text{O}} 2160 \\
99187,39 = & 2122,312 \cdot (132-100) + M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot 2160 \\
2160 M_{\text{H}_2\text{O}} = & 31273,406 \\
M_{\text{H}_2\text{O}} = & 14,478
\end{aligned}$$

- Proses Sirkulasi 14

$$\begin{aligned}
Q_{\text{acc}} = & Q_{\text{In}} - Q_{\text{out}} + Q_{\text{gen}} \\
0 = & \Sigma m_{\text{in}} \cdot c \cdot \Delta T - \Sigma m_{\text{out}} \cdot c \cdot \Delta T + (-H_i) - m_{\text{H}_2\text{O}} L \\
0 = & (m_{\text{CO}_2} \cdot c_{\text{CO}_2} \cdot \Delta T) + (n_{\text{Ca(OH)}_2} \cdot c_{\text{n Ca(OH)}_2} \cdot \Delta T) - (((m_{\text{Ca(OH)}_2} / \rho_{\text{n}} \\
& \text{Ca(OH)}_2 \cdot c_{\text{n Ca(OH)}_2} \cdot \Delta T) + (m_{\text{NaOH}} \cdot c_{\text{NaOH}} \cdot \Delta T) + (m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \\
& \Delta T) + (m_{\text{KOH}_2} / \rho_{\text{n KOH}_2} \cdot c_{\text{n KOH}_2} \cdot \Delta T) + (m_{\text{CaCO}_3} \cdot c_{\text{CaCO}_3} \cdot \Delta T)) \\
& + (-H_i) - M_{\text{H}_2\text{O}} L \\
0 = & (38,89 \cdot 0,838 \cdot (T_2-27)) + (883 \cdot 0,0875 \cdot (T_2-27)) - \\
& (((261735/74) \cdot 0,0875 \cdot (T_2-34,216)) + (41,553 \cdot 1,49 \cdot \\
& (T_2-34,216) + (217,01 \cdot 4,2 \cdot (T_2-34,216) + ((13851/56) \cdot \\
& 0,0659 \cdot (T_2-34,216)) + (1237,32 \cdot 0,75 \cdot (T_2-34,216)) + \\
& 99187,39 - M_{\text{H}_2\text{O}} 2160 \\
0 = & 32,59(132-34,216) + 77,263 (132-34,216) - 309,484(132- \\
& 34,216) - 61,914 (132-34,216) - 911,442 (132-34,216) - \\
& 16,29 (132-34,216) - 927,99 (132-34,216) + 99187,39 - \\
& M_{\text{H}_2\text{O}} 2160 \\
99187,39 = & 2117,267 \cdot (132-100) + M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot 2160 \\
2160 M_{\text{H}_2\text{O}} = & 31434,846 \\
M_{\text{H}_2\text{O}} = & 14,553 \text{ kg}
\end{aligned}$$

- Proses Sirkulasi 15

$$Q_{acc} = Q_{In} - Q_{out} + Q_{gen}$$

$$0 = \sum m_{in} \cdot c \cdot \Delta T - \sum m_{out} \cdot c \cdot \Delta T + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L$$

$$0 = (m_{CO_2} \cdot c_{CO_2} \cdot \Delta T) + (n_{Ca(OH)_2} \cdot c_n Ca(OH)_2 \cdot \Delta T) - (((m_{Ca(OH)_2} / \rho_n Ca(OH)_2} \cdot c_n Ca(OH)_2 \cdot \Delta T) + (m_{NaOH} \cdot c_{NaOH} \cdot \Delta T) + (m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T) + (m_{KOH_2} / \rho_n KOH_2} \cdot c_n KOH_2 \cdot \Delta T) + (m_{CaCO_3} \cdot c_{CaCO_3} \cdot \Delta T)) + (-H_t) - M_{H_2O} L$$

$$0 = (38,89 \cdot 0,838 \cdot (132-100)) + (883 \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) - (((196335/74) \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) + (41,553 \cdot 1,49 \cdot (132-100) + (218,37 \cdot 4,2 \cdot (132-100) + ((13851/56) \cdot 0,0659 \cdot (132-100)) + (1325,7 \cdot 0,75 \cdot (132-100)) + 99187,39 - M_{H_2O} 2160$$

$$0 = 32,59(132-100) + 77,263 (132-100) - 232,153(132-100) - 61,914 (132-100) - 917,154 (132-100) - 16,29 (132-100) - 994,275 (132-100) + 99187,39 - M_{H_2O} 2160$$

$$99187,39 = 2111,933 \cdot (132-100) + M_{H_2O} \cdot 2160$$

$$2160 M_{H_2O} = 31605,534$$

$$M_{H_2O} = 14,632 \text{ kg}$$

- Proses Sirkulasi 16

$$Q_{acc} = Q_{In} - Q_{out} + Q_{gen}$$

$$0 = \sum m_{in} \cdot c \cdot \Delta T - \sum m_{out} \cdot c \cdot \Delta T + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L$$

$$0 = (m_{CO_2} \cdot c_{CO_2} \cdot \Delta T) + (n_{Ca(OH)_2} \cdot c_n Ca(OH)_2 \cdot \Delta T) - (((m_{Ca(OH)_2} / \rho_n Ca(OH)_2} \cdot c_n Ca(OH)_2 \cdot \Delta T) + (m_{NaOH} \cdot c_{NaOH} \cdot \Delta T) + (m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T) + (m_{KOH_2} / \rho_n KOH_2} \cdot c_n KOH_2 \cdot \Delta T) + (m_{CaCO_3} \cdot c_{CaCO_3} \cdot \Delta T)) + (-H_t) - M_{H_2O} L$$

$$0 = (38,89 \cdot 0,838 \cdot (132-100)) + (883 \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) - (((130935/74) \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) + (41,553 \cdot 1,49 \cdot (132-100) + (219,65 \cdot 4,2 \cdot (132-100) + ((13851/56) \cdot 0,0659 \cdot (132-100)) + (1414,08 \cdot 0,75 \cdot (132-100)) + 99187,39 - M_{H_2O} 2160$$

$$0 = 32,59(132-100) + 77,263 (132-100) - 154,822(132-100) - 61,914 (132-100) - 922,53 (132-100) - 16,29 (132-100) - 1060,56 (132-100) + 99187,39 - M_{H_2O} 2160$$

$$\begin{aligned}
 99187,39 &= 2106,263 \cdot (132-100) + M_{H_2O} \cdot 2160 \\
 2160 M_{H_2O} &= 31786,974 \\
 M_{H_2O} &= 14,716 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Proses Sirkulasi 17

$$\begin{aligned}
 Q_{acc} &= Q_{in} - Q_{out} + Q_{gen} \\
 0 &= \sum m_{in} \cdot c \cdot \Delta T - \sum m_{out} \cdot c \cdot \Delta T + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L \\
 0 &= (m_{CO_2} \cdot c_{CO_2} \cdot \Delta T) + (n_{Ca(OH)_2} \cdot c_n Ca(OH)_2 \cdot \Delta T) - (((m_{Ca(OH)_2} / \rho_n \\
 &\quad Ca(OH)_2 \cdot c_n Ca(OH)_2 \cdot \Delta T) + (m_{NaOH} \cdot c_{NaOH} \cdot \Delta T) + (m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \\
 &\quad \Delta T) + (m_{KOH_2} / \rho_n KOH_2 \cdot c_n KOH_2 \cdot \Delta T) + (m_{CaCO_3} \cdot c_{CaCO_3} \cdot \Delta T)) \\
 &\quad + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L \\
 0 &= (38,89 \cdot 0,838 \cdot (132-100)) + (883 \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) - \\
 &\quad (((65535/74) \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) + (41,553 \cdot 1,49 \cdot (132- \\
 &\quad 100) + (220,84 \cdot 4,2 \cdot (132-100) + ((13851/56) \cdot 0,0659 \cdot \\
 &\quad (132-100)) + (1502,46 \cdot 0,75 \cdot (132-100)) + 99187,39 - \\
 &\quad M_{H_2O} \cdot 2160 \\
 0 &= 32,59(132-100) + 77,263 (132-100) - 77,49(132-100) - \\
 &\quad 61,914 (132-100) - 927,53 (132-100) - 16,29 (132-100) - \\
 &\quad 1126,845 (132-100) + 99187,39 - M_{H_2O} \cdot 2160 \\
 99187,39 &= 2100,214 \cdot (132-100) + M_{H_2O} \cdot 2160 \\
 2160 M_{H_2O} &= 31980,542 \\
 M_{H_2O} &= 14,806 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Proses Sirkulasi 18

$$\begin{aligned}
 Q_{acc} &= Q_{in} - Q_{out} + Q_{gen} \\
 0 &= \sum m_{in} \cdot c \cdot \Delta T - \sum m_{out} \cdot c \cdot \Delta T + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L \\
 0 &= (m_{CO_2} \cdot c_{CO_2} \cdot \Delta T) + (n_{Ca(OH)_2} \cdot c_n Ca(OH)_2 \cdot \Delta T) - (((m_{Ca(OH)_2} / \rho_n \\
 &\quad Ca(OH)_2 \cdot c_n Ca(OH)_2 \cdot \Delta T) + (m_{NaOH} \cdot c_{NaOH} \cdot \Delta T) + (m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \\
 &\quad \Delta T) + (m_{KOH_2} / \rho_n KOH_2 \cdot c_n KOH_2 \cdot \Delta T) + (m_{CaCO_3} \cdot c_{CaCO_3} \cdot \Delta T)) \\
 &\quad + (-H_t) - M_{H_2O} \cdot L \\
 0 &= (38,89 \cdot 0,838 \cdot (132-100)) + (883 \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) - \\
 &\quad (((135/74) \cdot 0,0875 \cdot (132-100)) + (41,553 \cdot 1,49 \cdot (132- \\
 &\quad 100) + (221,94 \cdot 4,2 \cdot (132-100) + ((13851/56) \cdot 0,0659 \cdot
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (132-100)) + (1590,84 \cdot 0,75 \cdot (132-100)) + 99187,39 - \\
& M_{\text{H}_2\text{O}} 2160 \\
0 = & 32,59(132-100) + 77,263 (132-100) - 0,16(132-100) - \\
& 61,914 (132-100) - 932,15(132-100) - 16,29 (132-100) - \\
& 1193,13 (132-100) + 99187,39 - M_{\text{H}_2\text{O}} 2160 \\
99187,39 = & 2093,79 \cdot (132-100) + M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot 2160 \\
2160 M_{\text{H}_2\text{O}} = & 32186,78 \\
M_{\text{H}_2\text{O}} = & 14,901 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Detail Perhitungan Pada Penentuan Ukuran Wadah *Soda Lime* Disetiap Tingkat Pengikatan Karbondioksida dan Beban Pendinginanannya

- Pengikatan 10% karbondioksida

$$m_{CO_2} = 70 \text{ kg}$$

$$t = 9 \text{ jam} = 32400 \text{ s}$$

$$\dot{m} = m_{CO_2}/t$$

$$= 70/32400$$

$$= 0,002 \text{ kg/s} = 2,16 \text{ g/s}$$

$$m_{10\%} = m_{sl} \cdot 10\%$$

$$= 1385,027 \cdot 10\%$$

$$= 138,503 \text{ kg}$$

$$V_{sl} = m_{10\%} / \rho_{sl}$$

$$= 138,5 / 900$$

$$= 0,153 \text{ m}^3$$

$$J = 4 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{day} = 0,463 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}$$

Maka luas permukaan wadah *soda lime* minimal sebesar.

$$A = (\dot{m}/J) \times 12/44 = 1,167 \text{ m}^2$$

Apabila lebar wadah *soda lime* dalam ditentukan sebesar 2,23 m, maka ukuran wadah *soda lime* bagian dalam sebesar.

- panjang minimal = 0,57 m didesain 0,6 m

- tinggi minimal = 0,133 m didesain 0,2 m

- Pengikatan 20% karbondioksida

$$m_{CO_2} = 140 \text{ kg}$$

$$t = 9 \text{ jam} = 32400 \text{ s}$$

$$\dot{m} = m_{CO_2}/t$$

$$= 140/32400$$

$$= 0,004 \text{ kg/s} = 4,32 \text{ g/s}$$

$$m_{20\%} = m_{sl} \cdot 20\%$$

$$= 1385,027 \cdot 20\%$$

$$= 277 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 V_{sl} &= m_{20\%} / \rho_{sl} \\
 &= 277 / 900 \\
 &= 0,308 \text{ m}^3 \\
 J &= 4 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{day} = 0,463 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}
 \end{aligned}$$

Maka luas permukaan wadah *soda lime* yang dibuthkan.

$$A = \dot{m} / J \times 12/44 = 2,545 \text{ m}^2$$

Apabila lebar wadah *soda lime* dalam ditentukan sebesar 2,23 m, maka ukuran wadah *soda lime* bagian dalam adalah sebagai berikut.

- panjang minimal = 1,14 m
- Dari panjang minimal tersebut akan didesain 2 lapis wadah, dengan panjang tiap wadah 0,6 m.
- tinggi minimal = 0,27 m didesain 0,35 m

- Pengikatan 30% karbondioksida

$$\begin{aligned}
 m_{\text{CO}_2} &= 210 \text{ kg} \\
 t &= 9 \text{ jam} = 32400 \text{ s} \\
 m_{30\%} &= m_{sl} \cdot 30\% \\
 &= 1385,027 \cdot 30\% \\
 &= 415,5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{sl} &= m_{30\%} / \rho_{sl} \\
 &= 415,5 / 900 \\
 &= 0,461 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{m} &= m_{\text{CO}_2} / t \\
 &= 210 / 32400 \\
 &= 0,007 \text{ kg/s} = 6,48 \text{ g/s}
 \end{aligned}$$

$$J = 4 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{day} = 0,463 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}$$

Maka luas permukaan wadah *soda lime* yang dibuthkan.

$$A = \dot{m} / J \times 12/44 = 3,818 \text{ m}^2$$

Apabila lebar wadah *soda lime* dalam ditentukan sebesar 2,23 m, maka ukuran wadah *soda lime* bagian dalam adalah sebagai berikut.

- panjang minimal = 1,72 m

Dari panjang minimal tersebut akan didesain 3 lapis wadah, dengan panjang tiap wadah 0,6 m.

- tinggi minimal = 0,39 m didesain 0,5 m

- Pengikatan 40% karbondioksida

$$m_{\text{CO}_2} = 280 \text{ kg}$$

$$t = 9 \text{ jam} = 32400 \text{ s}$$

$$\begin{aligned} m_{50\%} &= m_{\text{sl}} \cdot 40\% \\ &= 1385,027 \cdot 40\% \\ &= 554 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{sl}} &= m_{40\%} / \rho_{\text{sl}} \\ &= 554 / 900 \\ &= 0,61 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m} &= m_{\text{CO}_2} / t \\ &= 280 / 32400 \\ &= 0,008 \text{ kg/s} = 8,64 \text{ g/s} \\ J &= 4 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{day} = 0,463 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s} \end{aligned}$$

Maka luas permukaan wadah *soda lime* yang dibuthkan.

$$A_{\text{min}} = \dot{m} / J \times 12/44 = 5,09 \text{ m}^2$$

Apabila lebar wadah *soda lime* dalam ditentukan sebesar 2,23 m, maka ukuran wadah *soda lime* bagian dalam adalah sebagai berikut.

- panjang minimal = 2,28 m

Dari panjang minimal tersebut akan didesain 3 lapis wadah, dengan panjang tiap wadah 0,75 m.

- tinggi minimal = 0,53 m

didesain 0,65 m

- Pengikatan 50% karbondioksida

$$m_{\text{CO}_2} = 350 \text{ kg}$$

$$t = 9 \text{ jam} = 32400 \text{ s}$$

$$m_{50\%} = m_{\text{sl}} \cdot 50\%$$

$$= 1385,027 \cdot 50\%$$

$$= 692,5 \text{ kg}$$

$$V_{\text{sl}} = m_{50\%} / \rho_{\text{sl}}$$

$$= 692,5 / 900$$

$$= 0,77 \text{ m}^3$$

$$\dot{m} = m_{\text{CO}_2} / t$$

$$= 350 / 32400$$

$$= 0,011 \text{ kg/s} = 10,8 \text{ g/s}$$

$$J = 4 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{day} = 0,463 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}$$

Maka luas permukaan wadah *soda lime* yang dibutuhkan.

$$A_{\text{min}} = \dot{m} / J \times 12/44 = 6,36 \text{ m}^2$$

Apabila lebar wadah *soda lime* dalam ditentukan sebesar 2,23 m, maka ukuran wadah *soda lime* bagian dalam adalah sebagai berikut.

- panjang minimal = 2,85 m

Dari panjang minimal tersebut akan didesain 4 lapis wadah, dengan panjang tiap wadah 0,75 m.

- tinggi minimal = 0,53 m

didesain 0,65 m

- Pengikatan 60% karbondioksida

$$m_{\text{CO}_2} = 420 \text{ kg}$$

$$t = 9 \text{ jam} = 32400 \text{ s}$$

$$m_{60\%} = m_{\text{sl}} \cdot 60\%$$

$$= 1385,027 \cdot 60\%$$

$$= 831 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} V_{sl} &= m_{60\%} / \rho_{sl} \\ &= 692,5 / 900 \\ &= 0,92 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m} &= m_{CO_2} / t \\ &= 400 / 32400 \\ &= 0,012 \text{ kg/s} = 12,3 \text{ g/s} \end{aligned}$$

$$J = 4 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{day} = 0,463 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}$$

Maka luas permukaan wadah *soda lime* yang dibutuhkan.

$$A_{\min} = \dot{m} / J \times 12/44 = 7,636 \text{ m}^2$$

Apabila lebar wadah *soda lime* dalam ditentukan sebesar 2,23 m, maka ukuran wadah *soda lime* bagian dalam adalah sebagai berikut.

- panjang minimal = 3,42 m

Dari panjang minimal tersebut akan didesain 4 lapis wadah, dengan panjang tiap wadah 0,86 m.

- tinggi minimal = 0,53 m didesain 0,65 m

- Pengikatan 70% karbondioksida

$$\begin{aligned} m_{CO_2} &= 490 \text{ kg} \\ t &= 9 \text{ jam} = 32400 \text{ s} \\ m_{70\%} &= m_{sl} \cdot 70\% \\ &= 1385,027 \cdot 70\% \\ &= 969,52 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{sl} &= m_{70\%} / \rho_{sl} \\ &= 969,52 / 900 \\ &= 1,08 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m} &= m_{CO_2} / t \\ &= 400 / 32400 \\ &= 0,015 \text{ kg/s} = 15,1 \text{ g/s} \end{aligned}$$

$$J = 4 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{day} = 0,463 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}$$

Maka luas permukaan wadah *soda lime* yang dibutuhkan.

$$A_{\min} = \dot{m} / J \times 12/44 = 8,908 \text{ m}^2 \quad \backslash$$

Apabila lebar wadah *soda lime* dalam ditentukan sebesar 2,23 m, maka ukuran wadah *soda lime* bagian dalam adalah sebagai berikut.

- panjang minimal = 3,99 m

Dari panjang minimal tersebut akan didesain 4 lapis wadah, dengan panjang tiap wadah 1,19 m.

- tinggi minimal = 0,45 m didesain 0,5 m

$$\begin{aligned} Q_{tr} &= A \cdot U \cdot \Delta T \\ &= 1,282 \cdot 0,0069 \cdot (132-14) \\ &= 1,044 \text{ W} \end{aligned}$$

- Pengikatan 80% karbondioksida

$$m_{CO_2} = 560 \text{ kg}$$

$$t = 9 \text{ jam} = 32400 \text{ s}$$

$$\begin{aligned} m_{80\%} &= m_{sl} \cdot 80\% \\ &= 1385,027 \cdot 80\% \\ &= 1108 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{sl} &= m_{80\%} / \rho_{sl} \\ &= 1108 / 900 \\ &= 1,23 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m} &= m_{CO_2} / t \\ &= 560 / 32400 \\ &= 0,017 \text{ kg/s} = 17,3 \text{ g/s} \\ J &= 4 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{day} = 0,463 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s} \end{aligned}$$

Maka luas permukaan wadah *soda lime* yang dibutuhkan.

$$A_{\min} = \dot{m} / J \times 12/44 = 10,18 \text{ m}^2$$

Apabila lebar wadah *soda lime* dalam ditentukan sebesar 2,23 m, maka ukuran wadah *soda lime* bagian dalam adalah sebagai berikut.

- panjang minimal = 4,57 m

Dari panjang minimal tersebut akan didesain 5 lapis wadah, dengan panjang tiap wadah 1,19 m.

- tinggi minimal = 0,51 m didesain 0,65 m tinggi

$$\begin{aligned} Q_{tr} &= A \cdot U \cdot \Delta T \\ &= 1,626 \cdot 0,0069 \cdot (132-14) \\ &= 1,324 \text{ W} \end{aligned}$$

- Pengikatan 90% karbondioksida

$$m_{CO_2} = 630 \text{ kg}$$

$$t = 9 \text{ jam} = 32400 \text{ s}$$

$$\begin{aligned} m_{80\%} &= m_{sl} \cdot 90\% \\ &= 1385,027 \cdot 90\% \\ &= 1538,9 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{sl} &= m_{80\%} / \rho_{sl} \\ &= 1538,9 / 900 \\ &= 1,71 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m} &= m_{CO_2} / t \\ &= 560 / 32400 \\ &= 0,019 \text{ kg/s} = 19,44 \text{ g/s} \\ J &= 4 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{day} = 0,463 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s} \end{aligned}$$

Maka luas permukaan wadah *soda lime* yang dibutuhkan.

$$A_{\min} = \dot{m} / J \times 12/44 = 11,45 \text{ m}^2$$

Apabila lebar wadah *soda lime* dalam ditentukan sebesar 2,23 m, maka ukuran wadah *soda lime* bagian dalam adalah sebagai berikut.

- panjang minimal = 5,13 m

Dari panjang minimal tersebut akan didesain 5 lapis wadah, dengan panjang tiap wadah 1,19 m.

- tinggi minimal = 0,57 m didesain 0,7 m

$$\begin{aligned} Q_{tr} &= A \cdot U \cdot \Delta T \\ &= 1,74 \cdot 0,0069 \cdot (132-14) \\ &= 1,417 \text{ W} \end{aligned}$$

Data Teknik Komponen Sistem Pendingin

1. Tabung CO₂

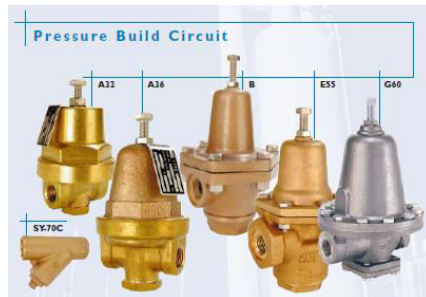


Gambar Tabung CO₂

Spesifikasi :

- Berat Bersih : 25 kg
- Berat Kotor : 75 kg
- Diameter : 22 cm
- Tinggi : 1,3 m
- Tekanan CO₂ : 14 bar
- Temperatur : -30°C

2. Pressure Reduction Valve



Gambar Pressure Reducing Valve

Spesifikasi

- Brand : Cash
- Model : B

- Max inlet Pressure : 27,6 bar
- Outlet Pressure : 0,7 - 17,2 bar
- Temperature Range : -196 - 65 °C
- Material : Bronze

3. Temperature Controlled Valve



Gambar Temperature Controlled Valve

Spesifikasi

- Brand : Robertshaw
- Model : RT-10010-B1
- Max Pressure : 17,2 bar
- Temperature Range : -15 - 330 °F
- Material : Bronze

4. Flow Control Valve



Gambar Flow Control Valve

Spesifikasi

- Brand : Fisher
- Tipe : Plug Valve
- Model : V500 Valve
- Temperature Range : -198 - 538 °C
- Material : WCC steel

5. Pressure Controlled Valve



Gambar Pressure Controlled Valve

Spesifikasi

- Brand : Cash
- Tipe : Back Pressure Regulator
- Model : FR
- Max inlet Pressure : 17,2 bar
- Outlet Pressure : 0 - 17,2 bar
- Temperature Range : -196 - 65 °C
- Material : Bronze or Stainless

6. Check Valve



Gambar Check Valve

Spesifikasi

- Brand : Check All Valve
- Model : U3
- Max inlet Pressure : 3000 PSIG @ 100 °F

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan studi perencanaan penggunaan *soda lime* dalam modifikasi *reefer container* dengan menggunakan CO₂ sebagai refrigeran maka bisa ditarik kesimpulan :

1. Pada *reefer container* ukuran 20' dengan sistem pendingin modifikasi menggunakan CO₂ cair, temperatur muatan yang berupa 14,5 ton buah pisang dapat dijaga pada temperatur 14°C selama 8 hari dengan menggunakan 28 botol silinder CO₂ cair bermassa 25 kg.
2. Untuk mengikat 700 kg CO₂ dibutuhkan 1385 kg *soda lime* sehingga kebutuhan volume minimal wadah *soda lime* sebesar 1,693 m³. Luas permukaan *soda lime* minimal yang dibutuhkan pada penelitian ini sebesar 12,723 m² dengan waktu pengikatan 9 jam. Karena luas permukaan wadah *soda lime* pada penelitian ini sebesar 2,654 m², maka wadah *soda lime* didesain menjadi 5 lapis.
3. Desain wadah *soda lime* untuk proses pengikatan didesain dengan ukuran 1,25 m x 2,29 m x 0,765 m.

5.2 Saran

Diperlukan penyempurnaan dalam hal desain sistem terutama penyempurnaan cara mengalirkan karbondioksida dari ruang muat ke wadah *soda lime*. Sistem yang ada di dalam penelitian ini masih kurang mengingat karbondioksida di dalam ruang muat tidak akan bisa masuk ke wadah *soda lime* bila tekanan udara ruang muat tidak mencapai 2,9 bar, jadi udara didalam ruang muat akan tetap menyisakan banyak kandungan karbondioksida. Untuk itu perlu dilakukan penambahan suatu sistem agar pembuangan udaradari ruang muat ke wadah *soda lime* tetap terjadi untuk memperkecil emisi karbondioksida.

Selain itu penulis memberi saran agar kelak desain wadah *soda lime* yang penulis tulis di dalam penelitian ini dapat diteliti melalui suatu percobaan agar mendapatkan hasil data yang baik, tidak hanya teoritis tetapi juga hasil percobaan.

DAFTAR PUSTAKA

Alkahf, Abdan, 2014, “Modifikasi *Reefer container* Dengan CO₂ Cair Sebagai Refrigeran”, Tugas Akhir S-1, Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS, Surabaya

Choi, J., Kang, B., Cho, H., 2014, “Performance comparison between R22 and R744 solar-geothermal hybrid heat pumps according to heat source conditions”, *Renewable Energy*, 71

European Comission Custom 2002, Good Practice Guide, Chapter 3 *Container Specifications*

Grogan, Paul, Juny 1998, “Flux Measurement Using *Soda lime*: Correction for Water Formed during Adsorption”, JSTOR

Hu, Haitao, Eikevik, T. M., Neksa P. & CO, “Performance analysis of an R744 ground source heat pump system with air-cooled and water cooled gas coolers”, *International Journal of Refrigeration*

Kader, Adel A., 2013, “Banana: Recommendation for Maintaining Postharvest Quality”, University of California

Keith, H., & Wong, S.C., 27 September 2005, “Measurement of Soil CO₂ efflux using *soda lime* absorption: both quantitative and reliable”, ELSEVIER.

LI-COR Biosciences, “Using CO₂ and H₂O Scrubber with LI-COR Gas Analyzers”

Parker Instrumentation, “Flow Calculation & Valve Sizing Gudelines”

Steinecker *Containerhandel*, 2012, “Technical Specification For A Typical Steel Dry Cargo *Container* 20’x8’x8’6” Type Side Door”

Wasala, W.M.C.B., & CO., 2012, “Physical and Mechanical Properties of Three Commercially Grown Banan (*Musa acuminata* Colla) Cultivars in Sri Lanka”, Sri Lanka

Witkowski , Andrzej, 2015, “Advances in Carbon Dioxide Compression and Pipeline Transportation Processes”

< ://www.premchemltd.com/products/soda-lime/spherasorb/>

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Pati, 17 Mei 1993. Penulis merupakan anak terakhir dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di beberapa sekolah, antara lain yaitu SDN 1 Bakaran Wetan, SMPN 1 Juwana, SMAN 1 Rembang. Setelah lulus dari SMAN 1 Rembang, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang Strata 1 dan diterima di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS pada tahun 2012. Penulis mengambil bidang Fluida Machinery and System Laboratory. Penulis aktif di bidang intra kampus, diantaranya menjadi anggota LDF Al Bahri selama 2013-2014 dan menjadi Kadif Media LDJ Al Mi'raj selama 2013-2015. Penulis juga aktif kegiatan ekstra kampus meliputi ikatan mahasiswa daerah.